

# Trabajo Fin de Grado

## Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales

### Modelado y recreación virtual en CATIA V5 del conjunto motor-transmisión del Ford Modelo T

Autor: José María Zapico Moreno

Tutor: María Gloria Del Río Cidoncha

**Dpto. Ingeniería Gráfica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, ENERO 2016







Proyecto Fin de Carrera  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

# **Modelado y recreación virtual en CATIA V5 del conjunto motor-transmisión del Ford Modelo T**

Autor:

José María Zapico Moreno

Tutor:

María Gloria del Río Cidoncha

Dpto. Ingeniería Gráfica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016





*“Desentrañar el misterio del vuelo de un pájaro fue como tratar de averiguar el secreto de la magia de un mago. Tras conocer el truco y saber qué mirar, ves cosas que no habías notado cuando no sabías exactamente qué buscar”*

*\_ Orville Wright*



*A todos aquellos que han  
hecho posible la creación de  
este proyecto.*



## RESUMEN

---

“Modelado y recreación virtual en CATIA V5 del conjunto motor-transmisión del Ford Modelo T” es un proyecto propuesto por el alumno con el objetivo de representar gráficamente tanto el propulsor como la transmisión del vehículo de Henry Ford, además de realizar una explicación exhaustiva de los componentes y el funcionamiento de ambas partes.

Para contextualizar al lector, este trabajo proporciona un repaso a la vida del genio estadounidense, además de un estudio de la evolución del crecimiento del primer automóvil de producción en masa.

El proyecto contiene la recreación 3D en el software CATIA del conjunto, gracias a los manuales Ford y los documentos oficiales de especificaciones técnicas suministrados por los miembros del MTFCA (*Model T Ford Club of America*).

# ABSTRACT

---

“Modeling and virtual recreation in CATIA V5 of the ensemble engine-transmission of Model T Ford” is a proposed project by the student with the objective to represent graphically the motor and the transmission of the Henry Ford vehicle, in addition to make a comprehensive explanation of the components as well as how both parts work.

To contextualize the reader, this Project provides an overview of the American genius life, and besides, a study of the growth evolution of the first carto be mass produced.

Finally, it contains the 3D recreation in software CATIA of the ensemble, thanks to the Ford manuals and the official documents of engineering specifications provide by the MTFCA members (*Model T Ford Club of America*).

# ÍNDICE

---

<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>x</b>
<b>Índice</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xiii</b>
<b>Notación</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>18</b>
1.1 Objetivo	18
1.2 Motivación	18
1.3 Metodología	18
1.4 Estructura	18
<b>2 Elección del Software CAD: CATIA V5</b>	<b>22</b>
2.1 Definición y origen	22
2.2 CATIA para la ingeniería	22
2.3 CATIA para el diseño	23
2.4 Módulos utilizados	24
<b>3 Historia del automóvil</b>	<b>26</b>
3.1 Introducción	26
3.2 Los inicios de Henry Ford	27
3.3 El origen del Ford T y primeros años	30
3.4 El éxito del cambio del sistema de producción	34
3.5 La decadencia del modelo	39
3.6 Influencia de las teorías de Taylor	42
<b>4 Teoría del motor del Ford T</b>	<b>47</b>
4.1 Información general del motor	47
4.2 Descripción de elementos	51
<b>5 Modelado del motor del Ford T</b>	<b>59</b>
5.1 Elementos principales	59
5.1.1 Block	59
5.1.2 Cylinder Head	62
5.1.3 Valves	62
5.1.4 Tappet	63
5.1.5 Piston	64
5.1.6 Connecting Rod	65
5.1.7 CrankShaft	65
5.1.8 CamShaft	66
5.1.9 Intake Manifold	67
5.1.10 Exhaust Manifold	68
5.1.11 Cam Bearing I: Front	69
5.1.12 Cam Bearing II: Center	70
5.1.13 Crank Bearing I y II: Center-Front	70
5.1.14 Crank Bearing III: Rear	71
5.1.15 Spring	72
5.2 Elementos menores	72
5.2.1 Wrist Pin	73
5.2.2 Engine Screws	73



5.2.3	Spring Retainer	74
5.2.4	Retainer Pin	75
5.3	Elementos ajenos	75
5.3.1	Spark Plug	75
5.3.2	Valves Door	76
<b>6</b>	<b>Teoría de la transmisión del Ford T</b>	<b>78</b>
6.1	Descripción de elementos de la transmisión	78
6.2	Explicación del funcionamiento de la transmisión	86
<b>7</b>	<b>Modelado de la transmisión del Ford T</b>	<b>92</b>
7.1	Elementos principales	92
7.1.1	FlyWheel	93
7.1.2	Transmission Shaft	94
7.1.3	Driven Gear	95
7.1.4	Triple Gear	95
7.1.5	Reverse Drum	96
7.1.6	Low Drum	97
7.1.7	Brake Drum	98
7.1.8	Disc Drum	99
7.1.9	Clutch Discs I: Small Discs	100
7.1.10	Clutch Discs II: Large Discs	100
7.1.11	Driving Plate	101
7.1.12	Driving Plate Arm	102
7.1.13	Clutch Push Ring	102
7.1.14	Clutch Shift	103
7.1.15	Clutch Spring	103
7.1.16	Clutch Spring Support	104
7.2	Elementos menores	105
7.2.1	Key Brake Drum-Driven Gear	105
7.2.2	Bushings	105
7.2.3	Transmission Screws	106
7.3	Elementos ajenos	109
7.3.1	Magneto	109
7.3.2	Transmission Door	110
<b>8</b>	<b>Ensamblado</b>	<b>112</b>
<b>9</b>	<b>Renderizado</b>	<b>119</b>
9.1	Software KEYSHOT 6	119
9.1.1	Descripción, elección y desarrollo	119
9.1.2	¿Cómo funciona?	120
9.1.3	Formatos soportados	120
9.1.4	Módulos principales	121
9.2	Render y comparativa con piezas reales	122
9.2.1	Piezas del motor	122
9.2.2	Piezas de la transmisión	128
<b>10</b>	<b>Conclusiones y futuro</b>	<b>137</b>
	<b>Referencias</b>	<b>138</b>

# Índice de Figuras

---

Ilustración 1. Logotipo de CATIA de Dassault Systems.....	2Error! Bookmark not defined.
Ilustración 2. Vista lateral del Ford modelo T .....	Error! Bookmark not defined.26
Ilustración 3. Vehículo diseñado por Karl Benz en 1886 (izquierda) y el diseñado por Charles y Frank Duryea en 1893 (derecha) .....	27
Ilustración 4. Primer vehículo de Henry Ford: el cuadriciclo .....	28
Ilustración 5. Edificio central de la Detroit Automobile Co. ....	29
Ilustración 6. Ford compitiendo contra Alexander Winton durante la carrera en 1901 .....	30
Ilustración 7. El Ford modelo N: En la época (izquierda) y conservado actualmente (derecha) .....	31
Ilustración 8. Anuncios del precio de 850 \$ de la primera versión del T.....	32
Ilustración 9. Edificio central de Highland Park: vistas diagonales .....	33
Ilustración 10. Producción: colocación del motor y del tanque (izquierda) y el banco de pruebas del motor (derecha) .....	34
Ilustración 11. Cintas transportadoras: montaje del volante (izquierda) y puesta a punto del cigüeñal (derecha) .....	35
Ilustración 12. Portada del <i>The Detroit Journal</i> destacando la estrategia de Ford (izquierda); gráfico comparativo de los salarios de la época (derecha) .....	36
Ilustración 13. Recorte del <i>The Dearborn Independent</i> del polémico 22-05-1920 (izquierda); <i>The Internacional Jew</i> , escrito por Henry Ford (derecha) .....	37
Ilustración 14. Couzens posando como senador de Michigan (izquierda), y junto a Henry Ford (derecha) .....	38
Ilustración 15. Imágenes de la fábrica de River Rouge .....	39
Ilustración 16. El Chevrolet Serie V 1926 (izquierda) y el Ford modelo A (Derecha).....	40
Ilustración 17. Evolución de “The Big Three” desde la creación de cada una .....	41
Ilustración 18. Henry Ford (izquierda) y Frederick Winslow Taylor (derecha).....	42
Ilustración 19. Comparación entre la cadena de montaje del Ford T (izquierda) y una actual (derecha) .....	43
Ilustración 20. 20 años de producción: Ventas y precios.....	45
Ilustración 21. Representación gráfica del motor del Ford modelo T .....	47
Ilustración 22. Vista del motor en el interior del vehículo .....	48
Ilustración 23. Sistema de admisión .....	49
Ilustración 24. Posición del tanque: en el centro (izquierda) y atrás (derecha) .....	49
Ilustración 25. Anuncio de las culatas modificadas de Frontenac (izquierda) y anuncios de las mismas de Rajo Motors para el modelo A (derecha).....	50
Ilustración 26. Imagen aclaratoria de las partes del exterior del motor.....	51
Ilustración 27. Cubierta de las válvulas: Sin cubierta (izquierda) y con ella (derecha).....	51
Ilustración 28. Bujías del modelo T: Instaladas (izquierda); pieza individual y caja (derecha) .....	52
Ilustración 29. Cortes del motor donde apreciar la camisa de agua de la culata .....	52
Ilustración 30. Fases de un motor de cuatro tiempos .....	53
Ilustración 31. Representación gráfica del interior del motor .....	54
Ilustración 32. Disposición de las válvulas y pistones .....	54
Ilustración 33. Colectores de admisión y escape (derecha) y su posición general en el motor (izquierda) .....	55
Ilustración 34. Imagen aclaratoria de las partes del interior del motor.....	55
Ilustración 35. Boceto de la leva del modelo T (izquierda) y su representación real (derecha).....	56
Ilustración 36. Boceto explicativo del movimiento de la biela del modelo T (izquierda) y su representación real (derecha) .....	56
Ilustración 37. Cigüeñal: instalado (izquierda) y de forma aislada (derecha) .....	57

Ilustración 38. Modelo de la parte superior del bloque del motor I: Vista frontal y módulos .....	60
Ilustración 39. Modelo de la parte superior del bloque del motor II: Vista trasera.....	61
Ilustración 40. Modelo de la parte superior del bloque del motor III: Vista inferior frontal (izquierda) e inferior trasera (derecha).....	61
Ilustración 41. Modelo de la parte inferior del bloque del motor IV: Vista inferior (izquierda) y superior (derecha) .....	61
Ilustración 42. Modelo de la culata .....	62
Ilustración 43. Modelo de la válvula.....	63
Ilustración 44. Modelo del alzávalvulas .....	64
Ilustración 45. Modelo del pistón: vista superior (izquierda) e inferior (derecha).....	64
Ilustración 46. Modelo de la biela .....	65
Ilustración 47. Modelo del cigüeñal.....	66
Ilustración 48. Tabla de especificaciones del arbol de levas .....	66
Ilustración 49. Orientación, posición y tipo de cada una de las levas.....	67
Ilustración 50. Modelo del arbol de levas .....	67
Ilustración 51. Modelo del colector de admisión.....	68
Ilustración 52. Modelo del colector de escape .....	69
Ilustración 53. Modelo del rodamiento frontal del arbol de levas.....	69
Ilustración 54. Modelo del rodamiento central del arbol de levas .....	70
Ilustración 55. Modelo del apoyo frontal y central del cigüeñal.....	71
Ilustración 56. Modelo del apoyo trasero del cigüeñal .....	71
Ilustración 57. Modelo del muelle de las válvulas .....	72
Ilustración 58. Modelo del pasador del pistón .....	73
Ilustración 59. Tabla de modelos de los diferentes tornillos.....	74
Ilustración 60. Modelo del enganche de la válvula.....	74
Ilustración 61. Modelo del pasador del enganche.....	75
Ilustración 62. Modelo de la bujía .....	76
Ilustración 63. Modelo de la cubierta de válvulas.....	76
Ilustración 64. Imagen esquemática de las partes de la transmisión (I).....	78
Ilustración 65. Carácter planetario del sistema: movimiento terrestre (arriba); movimiento de los engranajes (abajo) .....	79
Ilustración 66. Engranaje conducido y triples engranajes: instalados (izquierda) y pieza individual (derecha) .....	80
Ilustración 67. Imagen real de un tambor inverso o marcha atrás.....	81
Ilustración 68. Tambor de baja velocidad: acoplado a los demás tambores (izquierda) y pieza individual (derecha).....	81
Ilustración 69. Tambor de freno: acoplado a los demás tambores (izquierda) y pieza individual (derecha) .....	82
Ilustración 70. Imagen esquemática de las partes de la transmisión (II) .....	82
Ilustración 71. Discos de embrague: en su posición global (izquierda) y vista individual (derecha). 83	
Ilustración 72. Imagen real de un tambor de discos de embrague.....	83
Ilustración 73. Acople final de la transmisión.....	84
Ilustración 74. Imagen descriptiva de las conexiones exteriores de la transmisión .....	85
Ilustración 75. Movimiento de los engranajes y posición de los pedales a baja velocidad .....	87
Ilustración 76. Movimiento de los engranajes y posición de los pedales a alta velocidad .....	88
Ilustración 77. Movimiento de los engranajes y posición de los pedales en marcha atrás .....	89
Ilustración 78. Movimiento de los engranajes y posición de los pedales al accionar el freno.....	90
Ilustración 79. Modelo del volante de inercia (I): Vista anterior.....	92
Ilustración 80. Modelo del volante de inercia (II): Vista posterior.....	93
Ilustración 81. Modelo del eje del volante de inercia.....	94
Ilustración 82. Modelo del engranaje conducido .....	94

Ilustración 83. Modelo del engranaje triple .....	95
Ilustración 84. Modelo del tambor inverso .....	96
Ilustración 85. Modelo del tambor de baja velocidad .....	96
Ilustración 86. Modelo del tambor de freno (I): vista superior .....	97
Ilustración 87. Modelo del tambor de freno (II): vista inferior .....	98
Ilustración 88. Modelo del tambor de disco de embrague .....	99
Ilustración 89. Modelo del disco de embrague pequeño.....	99
Ilustración 90. Modelo del disco de embrague grande .....	100
Ilustración 91. Modelo del plato conductor .....	101
Ilustración 92. Modelo del brazo del plato conductor .....	102
Ilustración 93. Modelo del anillo de embrague .....	102
Ilustración 94. Modelo del collar de desplazamiento.....	103
Ilustración 95. Modelo del muelle de embrague.....	104
Ilustración 96. Modelo del soporte del muelle de embrague.....	104
Ilustración 97. Modelo de la chaveta de unión tambor de freno-engranaje conducido .....	105
Ilustración 98. Tabla de los diferentes cojinetes repartidos por el sistema.....	106
Ilustración 99. Tabla de los diferentes tornillos repartidos por el sistema.....	107
Ilustración 100. Modelo del magneto.....	108
Ilustración 101. Drawing con la inscripción de Ford .....	109
Ilustración 102. Modelo de la cubierta de la transmisión .....	110
Ilustración 103. Módulos de la herramienta <i>Mechanical Design</i> de CATIA.....	112
Ilustración 104. Opciones para añadir piezas al módulo <i>Assembly</i> .....	113
Ilustración 105. Barra de <i>Constraints</i> del módulo <i>Assembly</i> .....	113
Ilustración 106. Barra de <i>Move</i> del módulo <i>Assembly</i> .....	114
Ilustración 107. Ensamblado exterior .....	114
Ilustración 108. Ensamblado interior del motor I: vista frontal diagonal.....	115
Ilustración 109. Ensamblado interior del motor II: vista inferior diagonal.....	115
Ilustración 110. Ensamblado de la transmisión .....	116
Ilustración 111. Vista explosionada de la transmisión.....	116
Ilustración 112. Ensamblado interior del conjunto.....	117
Ilustración 113. Logotipo de KeyShot .....	119
Ilustración 114. Ejemplos de la potencia del software de Luxion .....	120
Ilustración 115. Comparativa entre el modelo del bloque y la pieza real I: vista frontal.....	123
Ilustración 116. Comparativa entre el modelo del bloque y la pieza real II: vista trasera.....	123
Ilustración 117. Comparativa entre el modelo de la culata y la pieza real I: vista superior .....	123
Ilustración 118. Comparativa entre el modelo de la culata y la pieza real II: vista inferior .....	123
Ilustración 119. Comparativa entre el modelo de la válvula y la pieza real .....	124
Ilustración 120. Comparativa entre el modelo del pistón y la pieza real.....	124
Ilustración 121. Comparativa entre el modelo de la biela y la pieza real.....	125
Ilustración 122. Comparativa entre el modelo del cigüeñal y la pieza real.....	125
Ilustración 123. Comparativa entre el modelo del arbol de levas y la pieza real.....	126
Ilustración 124. Comparativa entre el modelo del colector de admisión y la pieza real.....	126
Ilustración 125. Comparativa entre el modelo del colector de escape y la pieza real.....	126
Ilustración 126. Comparativa entre el modelo del rodamiento central del arbol de levas y la pieza real .....	126
Ilustración 127. Comparativa entre el modelo del rodamiento frontal del arbol de levas y la pieza real .....	127
Ilustración 128. Comparativa entre el modelo del cojinete de bancada central y frontal del cigüeñal y la pieza real .....	127
Ilustración 129. Comparativa entre el modelo del cojinete de bancada trasero del cigüeñal y la pieza real.....	127

Ilustración 130. Comparativa entre el modelo del alzálvulas y la pieza real.....	128
Ilustración 131. Comparativa entre el modelo del engranaje conducido y la pieza real .....	128
Ilustración 132. Comparativa entre el modelo del engranaje triple y la pieza real .....	129
Ilustración 133. Comparativa entre el modelo del tambor inverso y la pieza real .....	129
Ilustración 134. Comparativa entre el modelo del tambor de baja velocidad y la pieza real.....	129
Ilustración 135. Comparativa entre el modelo del tambor de freno y la pieza real.....	130
Ilustración 136. Comparativa entre el modelo del plato conductor y la pieza real .....	130
Ilustración 137. Comparativa entre el modelo del tambor de discos y la pieza real.....	130
Ilustración 138. Comparativa entre el modelo del volante de inercia y la pieza real I: vista frontal	131
Ilustración 139. Comparativa entre el modelo del volante de inercia y la pieza real II: vista posterior .....	131
Ilustración 140. Comparativa entre el modelo del eje del volante y la pieza real.....	131
Ilustración 141. Comparativa entre el modelo de los cojinetes y las piezas reales.....	132
Ilustración 142. Comparativa entre el modelo de la bobina del magneto y la pieza real .....	132
Ilustración 143. Comparativa entre el modelo de la cubierta de la transmisión y la pieza real.....	133
Ilustración 144. Renderizado exterior .....	133
Ilustración 145. Renderizado del interior del motor I: vista frontal diagonal .....	134
Ilustración 146. Renderizado del interior del motor II: vista inferior diagonal .....	134
Ilustración 147. Renderizado de la transmisión.....	135
Ilustración 148. Renderizado interior del conjunto .....	135

# Notación

---

Ilustración 48, página 66:

- TC: Top Center
- BC: Bottom Center
- ATC: After Top Center
- BTC: Before Top Center
- ABC: After Top Center
- BBC: Before Top Center

Página 139:

ISSM: Istituto Di Studi Sulle Società Del Mediterraneo

# **1 INTRODUCCIÓN**

---

## **1.1 OBJETIVO**

La finalidad de este trabajo es, con el mayor grado de realismo posible, modelar de forma tridimensional y renderizar el motor, y la unidad de transmisión, del Ford modelo T con la ayuda de herramientas de gran potencia y utilidad en la actualidad como CATIA V5.

## **1.2 MOTIVACIÓN**

Una razón que ha decantado este tema en favor de otros para ser desarrollados, es el hecho de que en la rama de Mecánica-Máquinas del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales no son estudiados los motores de combustión, sus componentes y su funcionamiento, y como es obvio, todo alumno de esta especialidad está interesado en esta materia. Todo lo anterior, unido a influencias familiares por estas máquinas ha llevado a su elección y desarrollo.

La herramienta a utilizar también ha servido de incentivo, ya que un uso habitual y correcto de este software es valorado por grandes empresas como un plus de conocimiento. CATIA, con respecto a los demás, ha sido el elegido debido a su potencia y a su importancia en estas industrias, como se detallara posteriormente.

Es importante mencionar que la idea de que futuros alumnos pudieran tener una base para obtener sus propias ideas y decidirse por continuar este trabajo motivaba sobremanera su elección. Por último, y como no podía ser de otra manera, era una ocasión ideal para poner en práctica conceptos recibidos durante el grado y, sobre todo, el último año de él.

## **1.3 METODOLOGÍA**

El proceso a seguir para la ejecución de este proyecto ha sido la adquisición del mayor número de planos, dibujos, manuales y especificaciones técnicas posibles para obtener toda la información que hiciera del modelo un conjunto fiable al ser construido y realista visualmente.

Cabe mencionar que algunas piezas se han simplificado, así como otras directamente prescindido de ellas, por diversos motivos técnicos y de modelado.

La forma de proceder, cronológicamente ha sido la siguiente:

- Recabar información de las medidas y distancias.
- Consideración de que piezas no modelar, y cuales modificar.
- Modelado de las piezas individuales.
- Ensamblaje
- Renderizado

Como es natural, entre uno y otro se han realizado ensayos de prueba y error para vislumbrar si había algún fallo y corregirlo sobre la marcha antes del ensamblaje final. Así como modificar las piezas añadiéndole colores para mejorar el renderizado final.

## 1.4 ESTRUCTURA

En consonancia con lo anterior, cada uno de esos apartados se ha configurado mediante bloques, así como otros independientes al modelado en sí. En primer lugar, el bloque de *Introducción*, éste en el cuál se encuentran estas líneas, trata de dar una primera visión sobre lo que va a ser el resto del trabajo, así como una idea de la manera de proceder.

En segundo lugar, el bloque dos se centra en explicar cuál ha sido el software usado y el motivo de su elección, siendo éste CATIA V5. Como añadido, un breve repaso de los principales módulos usados.

El tercer bloque *Historia del automóvil*, intenta dar al lector una dosis de historia, que siempre sirve de atracción para continuar leyendo con interés, algo así como un entrante para llevar al primer plato, que es el motor.

El cuarto bloque es el *Motor*, que abarca dos sub-bloques denominados *Descripción de elementos del motor* y *Modelado del Motor*, donde se trata de poner en situación sobre este elemento, entendiendo su funcionamiento y sus piezas, además de su posterior modelado, detallando cómo se ha realizado.

El quinto bloque es el de *Transmisión*, que al igual que en tercer bloque, se divide en dos bloques análogos: *Descripción de elementos y funcionamiento de la transmisión*, y *Modelado de la Transmisión*. De la misma manera, en el primero de detallan todos los componentes y se explica cómo funciona este elemento, así como finalmente es expuesto su modelado pieza a pieza.



El sexto bloque se trata del *Ensamblado*, donde teniendo todos los modelos de las piezas individuales, se agregan unas a otras como si de un puzle se tratara para obtener el modelo final.

El siguiente, *Renderizado*, trata de exponer los motivos de elección y las características del software de renderizado, al igual que en el software de modelado, así como una comparativa entre las piezas renderizadas y sus análogas reales. Por último es posible encontrar un renderizado final y parcial del conjunto.

El octavo bloque son las conclusiones y el cierre final del trabajo, comentando algunos detalles de relevancia, además de las futuras aportaciones que este proyecto haría en otros trabajos ajenos.

Para cerrar, con *Referencias* se muestran los libros, artículos, manuales, etc...usados en este documento así como un enlace de redirección hasta su lugar de origen.



## 2 ELECCIÓN DEL SOFTWARE CAD: CATIA V5

---

### 2.1 Definición y origen

CATIA (*computer-aided three dimensional interactive application*) es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora comercial realizado por Dassault Systèmes.

El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos. La principal peculiaridad de CATIA es que provee una arquitectura abierta para el desarrollo de aplicaciones y para personalizar el programa.

CATIA fue inicialmente desarrollada para la industria aeronáutica aunque desde los últimos años se ha integrado en la industria del automóvil para el diseño y desarrollo de componentes de carrocería. Concretamente empresas como el Grupo VW (Volkswagen, Audi, SEAT y Škoda), BMW, Renault, Peugeot, Daimler AG, Chrysler, Smart y Porsche hacen un amplio uso del programa. El sector de la construcción también ha incorporado el uso del software para desarrollar edificios de gran complejidad. El Museo Guggenheim Bilbao fue un hito arquitectónico que ejemplifica el uso de esta tecnología. [11]



Ilustración 1. Logotipo de CATIA de Dassault Systèmes [15]

### 2.2 CATIA para la Ingeniería

En esta área CATIA ofrece distintas utilidades:

- **Sistemas mecánicos.** Cubren una amplia gama de operaciones, como el diseño y el posicionamiento de componentes, la creación de automatismos, la simulación de la cinemática en tiempo real, las tolerancias funcionales y anotaciones, la generación de esquemas de ensamblaje y la creación de imágenes fotorrealistas.
- **Carrocerías en blanco.** CATIA ofrece tecnologías punta para el diseño de superficies mecánicas y carrocerías en blanco, basadas en un sólido enfoque de la modelización regida por las especificaciones.
- **Componentes estructurales y Diseño de ensamblajes.** Los componentes fundidos, moldeados y forjados, así como las herramientas correspondientes,

pueden ser definidos con CATIA. También cubre el soldado, los materiales compuestos, las estructuras, las fijaciones y el procesamiento de láminas de metal.

- **Diseño eléctrico.** CATIA ofrece una solución electromecánica completa para el diseño y la documentación de arneses eléctricos de todos los productos que incluyen componentes eléctricos, electrónicos y electromecánicos.

- **Ingeniería de tuberías y tubos.** Cuenta con herramientas de creación de plano general para la ubicación inteligente de tubos y tuberías.

- **Diseño electrónico.** Integran circuitos impresos (PCB) en un producto virtual.

- **Sistemas integrados.** Los arquitectos pueden definir, simular y generar códigos C para todo tipo de sistema de control.

- **Diseño de herramientas.** CATIA ofrece una amplia gama de aplicaciones para diseñar herramientas, incluyendo herramientas generales, moldes y matrices. Dispone de un extenso catálogo de componentes estándar para automatizar la definición. [11]

## 2.3 CATIA para el Diseño

En el mundo del diseño CATIA ofrece básicamente 3 tipos de soluciones:

- **Diseño Industrial.** Permite la creación en 3D a partir de cero o a partir de croquies en 2D. Los diseñadores industriales pueden manipular formas con una gran libertad.

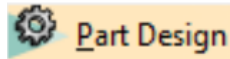
- **Refinamiento de superficies.** Abarca la totalidad del proceso de automoción de la Clase A. Integra las tecnologías de modelización de superficies ICEM. Utiliza las ventajas de la tecnología V6 con herramientas de modelización, análisis y visualización de formas estéticas y ergonómicas.

- **Ingeniería inversa y Reutilización de superficies.** Los diseñadores pueden generar y leer ficheros STEP. Ofrece herramientas de armonización y de reparación que permiten corregir las piezas que se utilizan en aplicaciones posteriores, como la fabricación, el análisis y el diseño de utillaje. [11]

## 2.4 Módulos utilizados

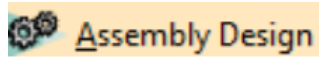
A pesar de que CATIA V5 cuenta con una gran cantidad de módulos y de muy diversas índoles, en este proyecto se ha recurrido a los más estrictamente necesarios para la consecución de éste. A continuación se citan:

- **Módulo de creación de piezas:**



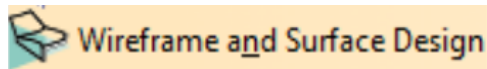
Módulo utilizado para la creación de sólidos, con multitud de herramientas de modelado y diseño. Ha sido el más usado con amplía diferencia, debido a la gran cantidad de piezas a crear.

- **Módulo de ensamblaje:**



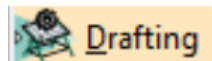
Con el módulo de ensamblaje es posible realizar el montaje de varios Part con restricciones muy intuitivas. Usado para el ensamblaje de la transmisión, el motor y el conjunto final.

- **Módulo de superficies:**



Muy útil para crear superficies y chapas, pudiendo crear formas muy complejas, por lo que es un módulo clave en la industria ingenieril. En este trabajo ha sido utilizado para crear los muelles de las válvulas y de la transmisión.

- **Módulo de creación de planos:**



Sencillo de usar, gracias a él es posible realizar representaciones 2D de una manera rápida, así como proyecciones en el plano de las piezas, permitiendo acotar el dibujo o realizar una lista de elementos. Se recurrió a su poder para crear la tipografía en relieve de “Ford” y “MADE IN USA” en la cubierta de la transmisión, como se verá posteriormente.



## 3 HISTORIA DEL AUTOMÓVIL

---

### 3.1 Introducción

Entre 1908 y 1924, el Ford Modelo T fue protagonista de un ascenso meteórico hasta alcanzar su proclamación como el coche más revolucionario del mundo. Impulsado por un diseño funcional, por una continua reducción de precios, y por la estrategia innovadora de producción en masa adoptada por Ford, las ventas del modelo T se dispararon pasando de algo más de 10.000 unidades en 1909 (su primer año de producción completa) a más de 735.000 en 1917, cuando, en tiempo de guerra, la escasez de materias obligó a Ford a reducir sus operaciones. Inmediatamente después de la guerra, la producción de Ford recuperó rápidamente los niveles de pre-guerra: las ventas aumentaron a 1,3 millones en 1922 y escalaron a más de 2 millones en 1923. Sin embargo, más tarde, una serie de eventos inesperados marcaron un devenir que Alfred A. Sloan, director de su mayor rival, General Motors, más tarde describió como "catastrófica y casi caprichosa" caída. El declive comenzó lentamente en 1924, cuando la producción de Ford se redujo ligeramente hasta aproximadamente 2 millón de unidades, una cifra que se mantuvo casi invariante hasta 1925. En 1926, sin embargo, la producción cayó hasta los casi 1,6 millones. Por lo que finalmente, en mayo de 1927, después haber producido tan solo 387.777 unidades, la compañía frenó la producción del Modelo T y suspendió todas las operaciones en sus fábricas. [3]



Ilustración 2. Vista lateral del Ford modelo T [16]

### 3.2 Los inicios de Henry Ford

Por tradición, Henry Ford, estaba destinado a dedicar su vida como agricultor. Nacido en 1863 en Dearborn, Michigan, en la granja llevada por su padre, de origen irlandés, y su madre, trabajadora en un almacén holandés, pronto comenzaría a desviarse de ese destino. Incluso cuando era un niño, el joven Henry tenía una especial aptitud para inventar, y esto lo puso en práctica para crear y modificar máquinas que reducían la monotonía de las tareas agrícolas.

A la edad de trece años, el hecho de toparse con un gigantesco motor de vapor a carbón en un camino rural mientras volvía a la granja de su padre produjo en él una fascinación que no le pasó inadvertida. Unos años más tarde, a los dieciséis, contra los deseos de su padre, abandonó la granja para ir a Detroit, donde encontró trabajo como aprendiz de mecánico.

Durante los siguientes doce años avanzó de manera constante, y como recompensa a tal trabajo y dedicación se convirtió en jefe de máquinas en el Edison Illuminating Company. Ya a los veinticuatro años, Ford contrajo matrimonio Clara Bryant, una amiga de su hermana a quien llamaba "la creyente", debido a sus ánimos y su apoyo total con respecto a sus planes de construir un carruaje sin caballos desde sus primeros días juntos.

Mientras Henry Ford supervisaba las máquinas de vapor y turbinas que producían electricidad para Detroit Edison, los inventores de EE.UU. y Europa se estaban adaptando a estos motores para vehículos pequeños de pasajeros. El 29 de enero de 1886, Karl Benz recibió una patente para un automóvil a gasolina cruda, el cual creó y puso al público ese mismo año en las calles de Mannheim, Alemania. Y siete años más tarde, en 1893, Charles y Frank Duryea, de Springfield, Massachusetts, construyeron el primer vehículo accionado por gas en los EE.UU.



Ilustración 3. Vehículo diseñado por Karl Benz en 1886 (izquierda) [17] y el diseñado por Charles y Frank Duryea en 1893 (derecha) [18]



En la década de 1890, cualquier mecánico con herramientas, una mesa de trabajo, y una sana imaginación era un titán potencial en la industria naciente. Precisamente, mientras aún trabajaba en Edison, Ford se decidió a poner en marcha uno de sus sueños, comenzó a dedicar su tiempo en hacer un automóvil puramente a mano. En 1891, presentó a su esposa Clara un diseño de un motor de combustión interna, dibujado en la parte posterior de una hoja de pentagramas. Su mente no paraba un segundo de crear, y dar vida a semejante idea sabía que era un trecho complicado, pero en la víspera de la Navidad de 1893, el genio de Michigan realizó una prueba exitosa de uno de sus motores... en el fregadero de la cocina.

El motor era más que el corazón de la nueva máquina que Ford esperaba construir. Los fines de semana y la mayoría de las noches, se le podía encontrar en un cobertizo en la parte de atrás de la casa de la familia, construyendo paulatinamente el resto del coche. Tan grande era su obsesión que los vecinos lo llamaban "Henry el Loco". Sin embargo, a las 2:00 am el 4 de junio de 1896, Henry el Loco abrió un gran agujero en la pared de su cobertizo, y emergió al volante de un automóvil - su automóvil. En las semanas siguientes, Ford ya era visto a menudo en coche por las calles de Detroit.



Ilustración 4. Primer vehículo de Henry Ford: el cuadriciclo [19]

Más tarde ese mismo año, Ford asistió a una reunión nacional de los empleados de Edison. Thomas A. Edison había sido el ídolo de Ford durante años. Pero en la reunión, fue Edison quien pidió reunirse con el joven inventor, después de correrse la voz de que aquel joven desconocido ingeniero había construido un automóvil. "Joven, usted tiene la idea correcta", dijo Edison. "Mantente en ella". Irónicamente, fue firme en la idea de que Ford no perdiese el tiempo tratando de crear un coche propulsado eléctricamente.

De vuelta en Detroit, Ford demostró que él no era un simple aficionado: vendió su prototipo por 200 \$. Durante tres años, observaba el nuevo campo de la fabricación de automóviles a desarrollar, y que avanzaba junto con él. En 1899, treinta fabricantes estadounidenses - la mayoría de ellos instalados en Nueva Inglaterra - produjeron alrededor de 2.500 coches. Aun así, la mayoría de los estadounidenses en el mercado de automóviles se acostumbraron a la compra de los importados. En 1898, sin embargo, la industria de la bicicleta doméstica se enfrentó a una caída inusual y muchos fabricantes decidieron dedicarse a la fabricación de automóviles para mantener las fábricas ocupadas.

Un año más tarde, y seducido por la oferta de un puesto de alto nivel, y la propiedad de parte de una nueva compañía emergente, la Detroit Automobile Co., Ford, con treinta y seis años, dejaba la Edison Illuminating Company. En la ciudad, la empresa que se convertiría en Oldsmobile se puso en marcha al mismo tiempo.



Ilustración 5. Edificio central de la Detroit Automobile Co. [20]

Finalmente, la Detroit Automobile Co. fracasó, sin ni siquiera llegar a producir coches, y Henry Ford fue expulsado por los coléricos inversores. Como detalle, la empresa finalmente sobrevivió, emergiendo de su reestructuración y pasando a llamarse Cadillac Motor Company Car, que tanto éxito cosecharía posteriormente. [1]

### 3.3 Origen del Ford T y primeros años

Ford continuó con su sueño. En aquella época, era común que se promocionara el automóvil mediante eventos en pistas de carreras, donde los fabricantes trataban de demostrar aptitud para la circulación poniendo sus coches a la vista del público y presionándolos hasta sus límites. En 1901, Henry Ford vierte su experiencia en un par de coches de carreras grandes, uno de ellos participó en una carrera de diez millas contra un coche construido por Alexander Winton, uno de los fabricantes de automóviles más importantes de Ohio. La carrera tuvo lugar en Grosse Pointe, Michigan, y el coche de Ford ganó. Debido a la victoria, el comerciante de carbón Alexander Malcomson acordó respaldar a Ford en un nuevo negocio. En 1903, por tanto, se formó la Ford Motor Company, en asociación con una docena de otros inversores. Capitalizado en 100.000 \$, la empresa comenzó realmente con dinero en efectivo, llegando a unos 28.000 \$. Algunos inversores, además, contribuyeron con otros tipos de capital; por ejemplo, los hermanos Dodge, John y Horace, acordaron suministrar motores.

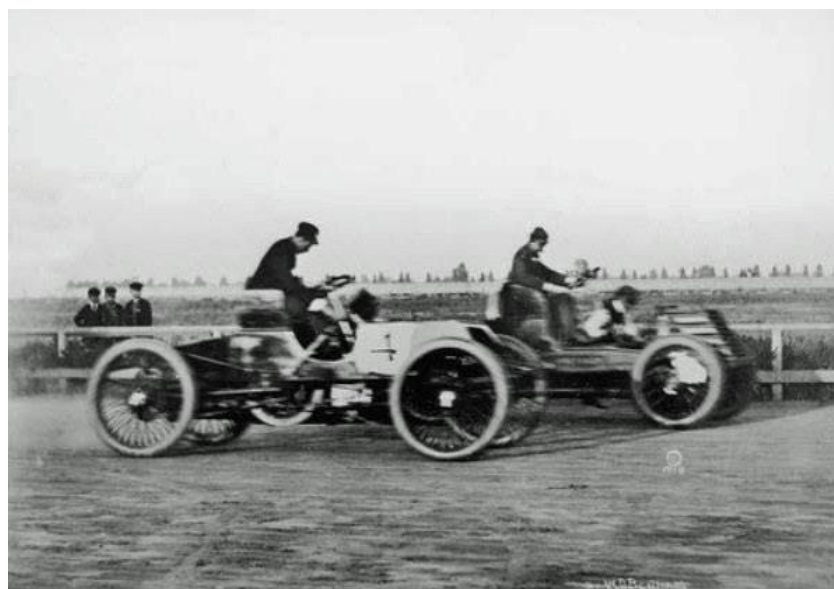


Ilustración 6. Ford compitiendo contra Alexander Winton durante la carrera en 1901 [21]

La compañía compró la mayor parte de los componentes principales para sus nuevos modelos, una práctica común de la época. Los equipos del sector mecánico construían los coches de forma individual en las estaciones de trabajo, reuniendo las piezas como fuera siendo necesario hasta que un coche se completara. En 1903, 125 trabajadores de Ford hicieron 1.700 vehículos en tres modelos diferentes. Los coches eran relativamente caros, y sus altos márgenes de ganancia satisfacían a los accionistas. Malcomson, por otro lado, decidió iniciar una nueva empresa de automóviles, pero cuando falló, se vio obligado a vender sus otros activos, incluyendo sus acciones de Ford. Henry Ford, viendo esa situación, decidió comprar suficientes como para asumir una posición mayoritaria. El accionista más

importante fuera de la familia Ford era, en ese momento, James Couzens, ex secretario de Malcomson; como director general, entonces vicepresidente y secretario-tesorero de la Ford Motor Company, fue, sin lugar a dudas, el segundo al mando durante muchos de los años del Modelo T.

Mientras se avanzaba en la vida del producto, era una realidad que la dirección de la empresa hacía modelos cada vez más caros, incluso era algo que no le gustaba al propio Henry Ford. Para corregir esta situación, utilizó su nuevo poder para reducir su producción, un movimiento que coincidió con el Pánico Financiero de 1907. Este movimiento de gran sincronización, por accidente, probablemente salvó la empresa. Ford, insistiendo en que los altos precios desaceleraban la expansión de la marca en el mercado, decidió en 1906 introducir un nuevo modelo, más barato con un margen de beneficio menor: el Modelo N. Muchos de sus partidarios no estaban de acuerdo, y tuvieron parte de razón, ya que el N fue sólo un éxito tibio, pero Ford, sin embargo, siguió adelante con el diseño del coche que realmente quería construir. El vehículo que iba a ser el Modelo T.



Ilustración 7. El Ford modelo N: En la época (izquierda) [22] y conservado actualmente (derecha) [23]

"Voy a construir un coche para el pueblo, el automóvil universal ", proclamó. Tal idea fue revolucionaria. Hasta entonces el automóvil había sido un símbolo de estatus cuidadosamente fabricado por artesanos. Sin embargo, Ford se propuso hacer del coche un producto. "Al igual que un alfiler es igual que otro alfiler cuando se trata de una fábrica de alfileres, o una cerilla es como otra cerilla cuando se trata de una fábrica de cerillas", dijo. Este fue sólo el primero de varios movimientos contradictorios que Ford hizo a lo largo de su impredecible carrera. Espinoso, brillante, deliberadamente excéntrico, se basaba más en el instinto que en los planes de negocio, o como el eminente economista John Kenneth Galbraith dijo más tarde: "Si hay alguna certeza en cuanto a lo que es un hombre de negocios, es que con total seguridad, Ford no lo era."

En el invierno de 1906, Ford había dividido en secreto una habitación de cuatro por quince pies en su planta, en Piquette Avenue en Detroit. Con unos compañeros, dedicó dos años para el diseño y planificación del Modelo T. Al principio, hicieron un extenso estudio de los materiales, el aspecto más valioso de los cuales se





al T, fueron impulsadas por las actividades promocionales que iban desde un elegante consultorio de Ford en Nueva York, donde un equipo de mecánicos mostraba el coche, hasta rodeos en el oeste, donde los vaqueros montados en el Ford trataban de lazar terneros. Ya en 1909, el magnate de la minería Robert Guggenheim patrocinó una carrera de automóviles de Nueva York a Seattle en el que los únicos supervivientes fueron dos Ford modelo T. "Creo que el Sr. Ford tiene la solución para el automóvil universal", concluyó Guggenheim.

En los primeros años, los Modelo T se produjeron en Piquette Avenue, y de la misma manera que los anteriores coches fueron construidos. La creciente demanda de los nuevos Ford colapsó el viejo método, sin embargo. Ford se dio cuenta de que no sólo tenía que construir una nueva fábrica, sino que tenía que crear e implantar un nuevo sistema dentro de ella.

A lo largo de su mandato como jefe de la compañía, Henry Ford mantuvo la idea de mantener enormes reservas de efectivo, una política que le permitió planificar una nueva planta para la producción del Modelo T sin interferencia o presión exterior. La nueva fábrica de Highland Park, que abrió en 1910, fue diseñada por el arquitecto industrial más importante del país, Albert Kahn. Fue un hecho sin precedentes, expandiéndose 250.000 metros cuadrados. John D. Rockefeller, cuya refinería Standard Oil siempre había representado la vanguardia de la técnica de diseño, llamó a Highland Park "el milagro industrial de la época."



Ilustración 9. Edificio central de Highland Park: vistas diagonales [26,27]

En sus primeros años, los cuatro pisos de la fábrica de Highland Park fueron organizados de arriba a abajo. El ensamblaje se desarrollaba hacia abajo, desde el cuarto piso, donde los paneles de la carrocería se elaboraban, a la tercera planta, donde los trabajadores colocaban los neumáticos en las ruedas y se pintaban las carrocerías de los automóviles. Después de que el ensamblaje se completara en el segundo piso, los coches nuevos descendían por una rampa final más allá de las oficinas del primer piso. La producción aumentó en aproximadamente un 100 por ciento en cada uno de los tres primeros años, pasando de 19.000 en 1910, a 34.500 en 1911, y más tarde a un asombroso 78.440 en 1912. Todavía era sólo un comienzo. [1,14]

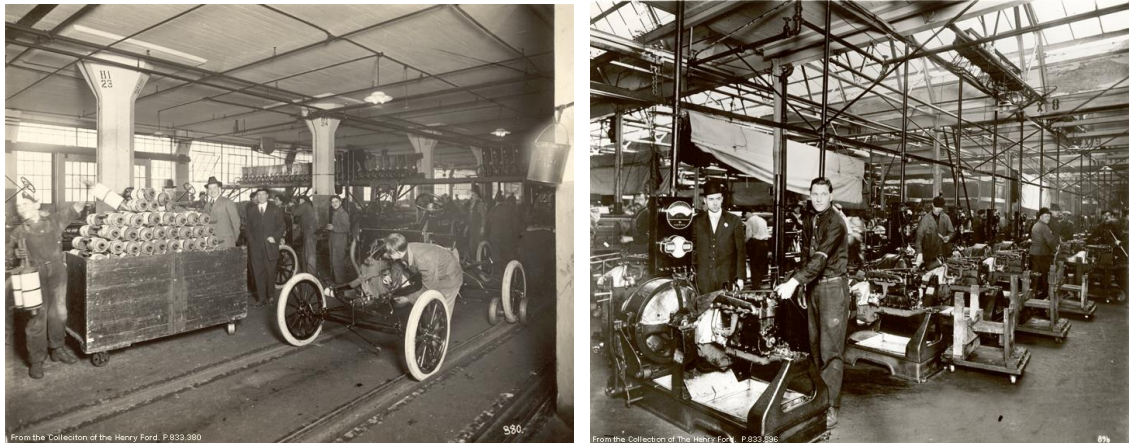


Ilustración 10. Producción: colocación del motor y del tanque (izquierda) y el banco de pruebas del motor (derecha) [28]

### 3.4 El éxito del cambio de sistema de producción

"Voy a democratizar el automóvil," dijo Henry Ford en 1909. "Cuando haya terminado, todo el mundo será capaz de pagar uno, y casi todo el mundo va a tener uno." Los medios para conseguirlo eran una continua reducción en el precio. Cuando se vendió por 575 \$ en 1912, el Modelo T por primera vez costaba menos que el salario medio anual vigente en los Estados Unidos. Haciendo caso omiso de la sabiduría convencional, Ford sacrificó continuamente los márgenes de ganancia para aumentar las ventas. De hecho, los beneficios por coche iban en caída mientras se recortaba el precio de 220 \$ en 1909 a 99 \$ en 1914. Pero las ventas explotaron, llegando a 248.000 en 1913. Por otra parte, Ford demostró que una estratégica y sistemática reducción de los precios podría aumentar las ganancias, los ingresos netos aumentaron de 3 millones \$ en 1909 a 25 millones \$ en 1914. Viendo como la cuota de Ford en el mercado estadounidense se alzaba de un respetable 9,4 por ciento en 1908 a un formidable 48 por ciento en 1914, esto significaba que el Modelo T era el absoluto dominador del mercado más importante del mundo.

En Highland Park, Ford comenzó a implementar la automatización de fábricas en 1910. Pero la experimentación continuaría diariamente durante los siguientes diecisiete años, en una de las máximas de Ford: "Todo siempre se puede hacer mejor de lo que se está haciendo." Ford y sus expertos en eficiencia examinaban todos los aspectos de ensamblaje y probaban nuevos métodos para aumentar la productividad. El propio jefe afirmó haber encontrado la inspiración para el mayor avance de todos, la línea de montaje en movimiento, en un viaje a Chicago: "La idea surgió de una manera general al ver el sistema de carritos utilizado por los empaquetadores de Chicago para el embalaje de la carne de res", Ford dijo. En los mataderos, los carniceros quitaban ciertos cortes por cada sección que pasaban, hasta que no quedaba nada. Ford invirtió el proceso. Su uso de la línea



de montaje en movimiento se complicaba por el hecho de que las partes, a menudo hechas en las líneas de sub-ensamblaje, tenían que complementarse sin problemas en el proceso. El tiempo era crucial: una obstrucción a lo largo de una línea más pequeña frenaría el trabajo más largo. La primera línea en movimiento se puso a prueba con el montaje del volante magnético, con un ahorro de seis minutos y cincuenta segundos sobre el método antiguo. Posteriormente otras líneas fueron implementando este sistema en Highland Park, por ejemplo, el tiempo de montaje para un chasis del Modelo T se redujo de doce horas y treinta minutos a cinco horas y cincuenta minutos.

El ritmo solo hacía acelerarse, gracias a los ingenieros de producción de Ford experimentó con toboganes de trabajo, rollways, cintas transportadoras, y cientos de otras ideas. La primera y más eficaz línea de montaje en la industria del automóvil fue actualizada continuamente. Los más afectados eran, por supuesto, los trabajadores. Ya en enero de 1914, Ford desarrolló un transportador "sin fin" accionado por cadena, para desplazar el chasis de una estación de trabajo a otra; por lo que los trabajadores permanecían en un lugar fijo. Tres meses más tarde, la compañía creó un nuevo tipo de línea, denominada "Man High", con todas las partes y cinturones a nivel de la cintura, lo cual hacía que los trabajadores podrían repetir sus tareas asignadas sin tener que mover sus pies.

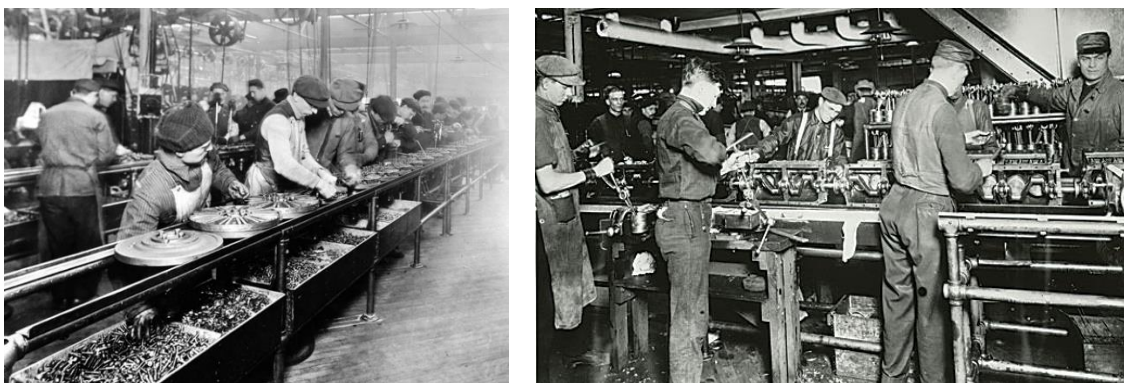


Ilustración 11. Cintas transportadoras: montaje del volante (izquierda) [29] y puesta a punto del cigüeñal (derecha) [30]

En 1914, 13.000 trabajadores de Ford hicieron 260,720 automóviles. En comparación, en el resto de la industria, se tomó 66,350 trabajadores para hacer 286.770. Los críticos acusaron que la división del proceso de montaje en tareas repetitivas, volvió a la mayor parte de los empleados de Ford en autómatas no pensantes, y que la manipulación del ritmo de la línea era equivalente a un esclavo conducido por control remoto. Los hombres que hacían los coches ya no tenían que estar continuamente dedicados a ello, como en los primeros años; eran únicamente jornaleros. Ford eligió ver la imagen más grande del empleo que él ofreció. "He oído que alguien dijo, y de hecho, creo que es un buen pensamiento actual, que hemos eliminado la habilidad de trabajar", dijo. "Pero no lo hemos hecho. Hemos creado una habilidad superior en la



planificación, la gestión, y la construcción de herramientas, y los resultados de esa habilidad son disfrutados por el hombre que no es experto."

Pero los trabajadores no cualificados, muchos de ellos nacidos en el extranjero, no disfrutaban de su trabajo, ganando una cantidad mediocre de 2,34 \$ al día por nueve horas. De hecho, la simplificación de los puestos de trabajo creó una reacción traicionera: alta rotación. En el transcurso de 1913, la empresa tuvo que contratar a 963 trabajadores por cada 100 que necesitaban para continuar con la nómina impuesta. De hecho, para mantener una plantilla de 13.600 empleados en la fábrica, Ford gastó continuamente dinero en formación a corto plazo de los trabajadores. A pesar de que la compañía introdujo un programa de bonos y beneficios generosos, incluyendo una clínica médica, campos deportivos y parques infantiles para las familias de los trabajadores, el problema persistió. El resto de la industria aceptó a regañadientes la alta rotación como parte del sistema de la línea de montaje y se pasó a los crecientes costes laborales en los precios de sus coches. Henry Ford, sin embargo, no le importaba el hecho aumentar los costes laborales del Modelo T, mientras se mantuviera una buena relación calidad-precio. Su solución fue un golpe audaz que repercutió en toda la nación.



Ilustración 12. Portada del The Detroit Journal destacando la estrategia de Ford (izquierda) [31]; gráfico comparativo de los salarios de la época (derecha) [32]

El 5 de enero de 1914, Henry Ford anunció un nuevo salario mínimo de cinco dólares por jornada de ocho horas, además de un plan de reparto de beneficios. Fue la comidilla de las ciudades de todo el país; Ford fue aclamado como el amigo del trabajador, como un socialista puro y simple, o como un loco dispuesto a la quiebra de su empresa. Muchos hombres de negocios - incluyendo la mayor parte de los accionistas restantes de la Ford Motor Company - se referían a su solución como imprudente. Pero él se quitó toda la crítica: "Bueno, ya sabes que si pagas a los hombres bien se puede hablar con ellos", dijo. Reconociendo el elemento humano en la producción en masa, Ford sabía que la retención de más empleados reduciría los costes, y que una fuerza de trabajo más feliz conduciría inevitablemente a una mayor productividad. Los números le dieron la razón. Entre 1914 y 1916, las ganancias de la compañía se

duplicaron de 30 millones \$ a 60 millones \$. "El pago de cinco dólares al día por una jornada de ocho horas fue uno de los mejores movimientos de reducción de costes que hemos tomado", dijo más tarde.

Hubo otras repercusiones, también. Un esfuerzo en ciernes de sindicación de la fábrica de Ford se disolvió en la cara del Día de cinco dólares. Lo más astuto en la nueva estrategia de Ford, fue el hecho de que la nueva escala de salarios de los trabajadores convirtió a los mismos en clientes también. Las adquisiciones que ellos hicieron devolvieron al menos algunos de esos cinco dólares a Henry Ford, y ayudaron a aumentar la producción, lo que invariablemente ayudó a reducir los costes por el automóvil.

El papel central que el Modelo T había llegado a jugar en la vida cultural, social y económica de Estados Unidos elevó a Henry Ford a un papel de héroe popular en toda regla. Sin embargo, Ford no estaba satisfecho. Imaginándose a sí mismo un experto en política, se dejó arrastrar por los asuntos nacionales e incluso mundiales. Antes de que Estados Unidos entrara en la Primera Guerra Mundial, desesperado por los horrores de los combates; a finales de 1915, contrató un "Barco de la Paz" y se embarcó con una delegación privada de radicales de Francia en un intento de poner fin a la guerra. Más adelante, en 1918, perdió una campaña para un puesto en el Senado de Estados Unidos y al año siguiente, compró un periódico, el *Dearborn Independent*, que se convertiría en el vehículo para su notorio antisemitismo. El diario clamó contra *El Judío Internacional*, e informó de las teorías de conspiración difamatorias tales como *Los Protocolos de los Sabios de Sion*.



Ilustración 13. Recorte del The Dearborn Independent del polémico 22-05-1920 (izquierda) [33]; The Internacional Jew, escrito por Henry Ford (derecha) [34]

En 1915, James Couzens renunció a un puesto de director general de la Ford Motor Company, pero manteniendo un cargo en el consejo. Ya en 1916, Ford puso en contra a los demás accionistas por declarar un dividendo insignificante, incluso a la vista de unas ganancias récord. En respuesta, los accionistas demandaron, y en 1919 el Tribunal Supremo de Michigan confirmó una sentencia

en primera instancia que calificaba como inaceptable retener dividendos bajo aquellas circunstancias. La Ford Motor Company se vio obligado a distribuir 19 millones \$ en pagos de dividendos. Como respuesta a la intensa disputa, Henry amenazó públicamente con abandonar la empresa y formar una nueva. Incluso hizo planes dirigidos a esta nueva idea y discutió el próximo coche que produciría.

Ante el temor de que el valor de las acciones de Ford se desplomara, los accionistas minoritarios de repente se mostraron dispuestos a vender, y por otro lado, agentes que trabajaban a escondidas para Henry Ford ya habían comprado discretamente mucho antes una gran cantidad de acciones. Los vendedores no recibieron todo el valor de las acciones, a causa de los rumores, pero cada uno de ellos se creó una fortuna. James Couzens, el más astuto de todos, recibió el precio más alto por acción, y se volvió para emprender una trayectoria en el Senado de los Estados Unidos (ganó su batalla, a diferencia del antiguo jefe) con 30 millones \$ en el banco. Ford obtuvo el control completo de la empresa con un coste de millones de \$ 125 - \$ 106 millones de las acciones, más \$ 19 millones para el dividendo por orden judicial – un gran gasto que el financió con un préstamo de 75 millones \$ por parte de dos bancos del este. El 11 de julio de 1919, firmó el último acuerdo de transferencia de acciones, a los cincuenta y cinco años de edad. Las acciones se dividieron y pasaron a nombre de Henry, Clara, y Edsel Ford.



Ilustración 14. Couzens posando como senador de Michigan (izquierda) [35], y junto a Henry Ford (derecha) [36]

En 1921, el Modelo T de Ford ocupaba el 60 por ciento del mercado de automóviles nuevos. Las plantas de todo el mundo producían “Flivvers” como si fueran fichas de metro, y el único problema de Henry Ford, como a menudo él afirmaba, fue encontrar la manera de hacer los suficientes. Como ejemplo de la gran diversificación que existía en la empresa, Ford se hizo con la Lincoln Motor Company Car en 1921. Los planes de la compañía parecía estar mirando en un predecible futuro a largo plazo, por lo que a Ford le surgió la idea de embarcarse en un nuevo gran proyecto: el diseño y construcción la factoría de automóviles más grande y eficiente del mundo, en River Rouge, cerca de Detroit. Se dispusieron más de 2.000 acres de terreno, 8 millones de metros cuadrados, que incluirían 90 millas de vías férreas y suficiente espacio para 75.000 empleados



para producir los coches desde las materias primas hasta su acabado en un lapso de tan sólo cuarenta y una horas. River Rouge tenía su propia planta de energía, forjas de hierro, e instalaciones de fabricación. Ningún detalle se pasó por alto: el papel desechado sería reciclado en cartón en el propio molino de papel de la fábrica. River Rouge fue construido para producir Fords modelo T en las siguientes décadas, en el momento en que fuera capaz de alcanzar plena producción, una fábrica de una décima parte de su tamaño podría haber manejado la demanda de Modelo Ts. [1]

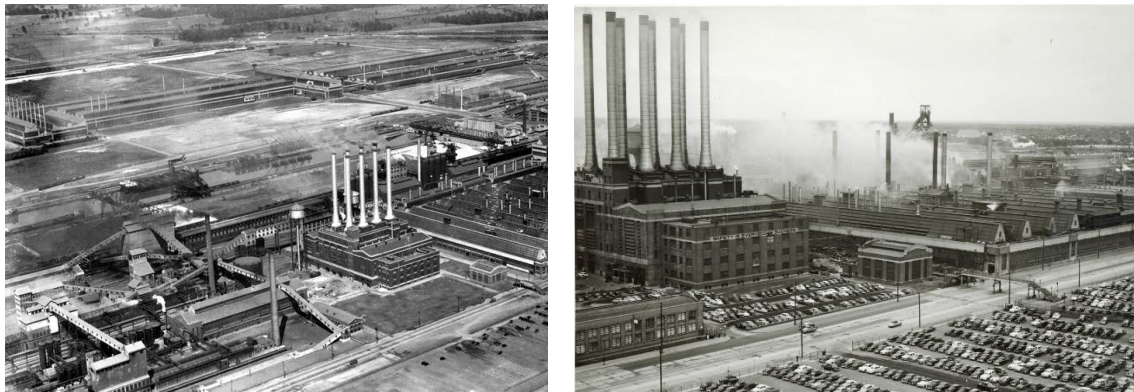


Ilustración 15. Imágenes de la fábrica de River Rouge [37,38]

### 3.5 Decadencia del modelo

El 4 de junio de 1924, el Modelo T número 10 millones de Ford salió de la fábrica de Highland Park, que continuaría siendo la principal fábrica para la producción del T. Mientras que el “Flivver” vendía seis veces más que su competidor más cercano, su carrera desenfrenada se comenzaba a acercar a su conclusión imprevista. Después de años ocupando la gama media-baja del mercado, Ford veía como otro fabricante de automóviles fijaba las miradas en ese mismo sector.

A principios de la década, General Motors era un conglomerado incómodo de empresas de automóviles y proveedores de piezas, logró más por el bien de la fluctuación en el precio de sus acciones que para la eficiencia en la fabricación de automóviles. A mediados de la década, sin embargo, una GM revitalizada, bajo la brillante dirección de Alfred P. Sloan, Jr., comenzó a ofrecer Chevrolet de bajo costo con todas las comodidades de las que el Modelo T carecía. En lugar de una robusta pero anticuada transmisión planetaria, tenía una transmisión suave de tres velocidades. El mercado comenzó a cambiar; precio y valor dejaron de ser factores primordiales. El diseño y la comodidad pasaron de repente a ser requisitos para el cliente. A pesar de que el modelo T costaba apenas 290 \$ a mitad de la década de los 20, los distribuidores clamaban por un nuevo Ford que la satisficiera la imaginación de los consumidores más exigentes y sofisticados.

Pero Henry Ford se negó incluso a considerar la sustitución de su amado modelo T. Una vez, mientras estaba de vacaciones, los empleados construyeron un modelo

T actualizado, y le sorprendieron con él a su regreso. Ford respondió con patadas en el parabrisas y pisando fuerte en el techo. "Nos dieron el mensaje," uno de los empleados dijo más tarde: "En lo que a él respecta, el Modelo T era Dios y teníamos que alejarnos de falsas imágenes." Sólo una persona insistió en advertirle de la inminente crisis: su hijo, Edsel, que había sido nombrado como presidente de la Ford Motor Company durante el juicio de dividendos y sus secuelas en 1919. Fue la primera de muchas discusiones que Edsel perdería, como la relación con su padre, que pasó de adoración mutua al deterioro en desconfianza y falta de respeto por parte de Henry, y la triste desilusión de Edsel.

El Chevrolet continuó restando ventas a un desfasado modelo T. En 1926, las ventas del T habían caído en picado, y las realidades del mercado finalmente convencieron a Henry Ford de que el final estaba cerca. El 25 de mayo de 1927, Ford anunció abruptamente el final de la producción del Modelo T, y poco después se cerró la fábrica de Highland Park durante seis meses. El cierre no era para reequipamiento: no había ningún nuevo modelo en los planes. En el peor ejemplo de planificación de un producto de la historia, Henry envió a casa a los trabajadores para que pudieran empezar a diseñar su próximo modelo. Afortunadamente, Edsel se había reunido en secreto con los diseñadores de la empresa para crear nuevos bocetos, y estaba listo y capaz de trabajar con su padre en la elaboración de los planes para el nuevo coche, llamado Modelo A. Fue un éxito desde su lanzamiento en diciembre de 1927, y situó de nuevo a la empresa sobre bases sólidas. En el momento en que entró en producción, la fábrica de River Rouge se había convertido en la principal sede de fabricación de Ford.

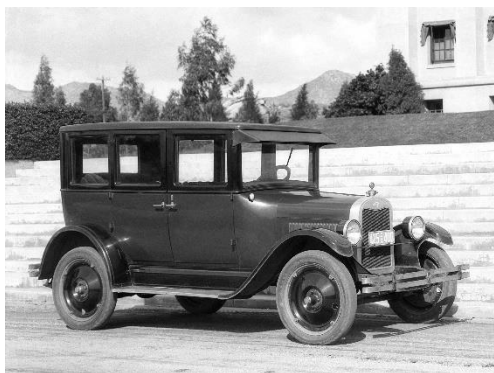


Ilustración 16. El Chevrolet Serie V 1926 (izquierda) [39] y el Ford modelo A (Derecha) [40]

Cuando el último Modelo T salió de la línea de montaje, no era el final de una era, era todavía el inicio de una época que el pequeño automóvil de Ford había inaugurado. Los coches - más de la mitad de ellos Modelo T - impregnaron la cultura estadounidense. Ellos colapsaron las calles de las grandes ciudades del este y recorrieron las carreteras recién instaladas en el sur de California. Adaptados para transportar todo, desde el envío de ametralladoras a ataúdes o hasta estudiantes, los coches representaron una oportunidad para cambiar en prácticamente todo. También se convirtieron en un factor crucial en la refundición de una economía en crecimiento. Henry Ford había creado un coche para la multitud, y ese coche

había creado las bases de la cultura del automóvil que quedaría como legado para cada generación subsiguiente.

La Ford Motor Company, habiendo sobrevivido a su propia crisis en los años veinte, fue uno de los cuarenta y cuatro fabricantes de automóviles estadounidenses que quedaban en 1929, de los cientos que habían entrado en el terreno de juego desde el comienzo del siglo. Ese año, Ford, General Motors, y la recién formada Chrysler Corporation - conocido entonces y ahora como “The Big Three” - representaron el 80 por ciento del mercado.

**After a century in the game, the Big Three now struggle to survive**

	FORD	GM	CHRYSLER
1900s	1903: Ford Motor Co. founded 1908: Model T introduced	1908: General Motors Company founded	1908 Model T
'10s	1913: Begins using assembly line 1917: First Ford truck hits market	1911: Electric self-starter first used 1916: Incorporated as General Motors Corp.	
'20s	1927: Model T line ends, Model A begins	1921: Market share is 12 percent	1925: Chrysler Motor Corporation formed 1928: Takes over Dodge Brothers
'30s	1932: First V-8 engine is produced	1937: Strikes by GM workers lead to UAW representation	1934: Wind tunnel is used to design first aerodynamic car
'40s	1941: Last major auto company to sign with United Auto Workers	1941: Market share is 41 percent	1940: Walter Chrysler dies; contracted to build tank plant
'50s	1956: Goes public 1959: Credit company founded	1954: Market share is 54 percent	1951: Power steering debuts 1953: Air conditioning introduced
'60s	1961: First company UAW strike 1965: Mustang begins production	1966: GM develops first fuel cell-powered vehicle	1966: Dodge Charger debuts
'70s	1970: Twenty-seven people die in Ford Pinto fuel tank fires; recall issued	1973: First air bag in production car 1974: Introduces catalytic converter	1970: Chrysler United Kingdom Ltd. and Chrysler France SA open
'80s	1985: Taurus model is introduced 1986-87: Earnings exceed GM's	1980: Sales drop 26 percent 1986: Plans to close 11 U.S. plants	1980: President Jimmy Carter agrees to co-sign loans for up to \$500 million
'90s	1990: Buys Jaguar for \$2.5 billion 1999: Buys Volvo for \$6.45 billion	1998: Strikes at two Michigan plants shut down almost all U.S. production	1998: Daimler-Benz announces a \$36 billion merger
2000s	2006: Cuts 10,000 jobs; 16 plants slated to close by 2012; \$12.6 billion loss for the year. 2007: Sells Aston Martin 2008: Announces \$8.7 billion loss in July and \$7 billion in November; CEO testifies before Senate	2000: Announces end of Oldsmobile 2006: Sells 51 percent of GMAC to Cerberus Capital Management LP 2007: \$38.7 billion record loss 2008: Plans to close four plants; Hummer for sale; posts \$21.3 billion loss in three quarters; CEO testifies before Senate	2003: First to build and sell about 1 million alternate fuel vehicles 2007: Sells 80.1 percent of company to Cerberus 2008: Exits leasing business, discuss merger or acquisition by GM; CEO testifies before Senate

Ilustración 17. Evolución de “The Big Three” desde la creación de cada una [2]

Henry Ford murió el 7 de abril de 1947, a la edad de ochenta y tres años, habiendo sobrevivido el Modelo T durante casi veinte años. El mundo permanece en movimiento en gran parte por el impulso que proporcionó Henry Ford: un mundo en el que los coches son para todo el mundo. Como dijo Will Rogers, "Llevará un centenar de años para saber si él nos ayudó o nos hizo daño, pero desde luego no nos dejó donde nos encontramos." [1]

### 3.6 Influencia de las teorías de Taylor

Durante los primeros años 20<sup>o</sup> siglo, Frederick Winslow Taylor desarrolló una serie de las teorías de gestión y de organización que dieron lugar a avances significativos en prácticas de negocios. Desde esa época, los niveles de producción industrial han crecido exponencialmente a lo largo de gran parte del mundo. Las ideas de Taylor tienen radicalmente métodos modernos en forma de producción en masa y organización estructural.

Casi al mismo tiempo que Taylor comenzó a experimentar con sus teorías, el prominente empresario Henry Ford estaba trabajando duro para desarrollar varios de sus coches ahora infames. Ford nombró estos coches alfabéticamente de la “A” a la “S”. De acuerdo con *The Case Files: Henry Ford*, publicado por el Instituto Franklin, el coche de mayor éxito de Ford fue el Modelo T, que comenzó su producción, como ya se vio anteriormente, en 1908, sólo algunos años antes de que Taylor publicara su seminal trabajo, *Principios de la Administración Científica*, en 1911. Implementando las teorías de Taylor, Ford Motor Company, llega a producir más de 15 millones de Modelos T entre 1908 y 1927. Como se puede observar con mayor detalle más adelante, los ambiciosos esfuerzos de Henry Ford en el aspecto de la producción disminuyeron el coste de éste, lo que permitió tener los precios más bajos del mercado.



Ilustración 18. Henry Ford (izquierda) y Frederick Winslow Taylor (derecha) [8]

En los primeros días de la fabricación de los automóviles de Ford, como se explicó, durante el montaje el coche se mantenía en una posición mientras los trabajadores le añadían piezas. Cada coche era producido por equipos de trabajadores cualificados, y, trabajando juntos, estos grupos colectivamente pasaban más de 12 horas para la construcción de cada vehículo.

Este proceso era muy costoso y consumía mucho tiempo, por lo que era imposible para Ford producir sus coches en masa a precios asequibles. Ford pronto buscó la manera de racionalizar este proceso y producir un mayor volumen de vehículos en



un periodo más corto de tiempo. En última instancia, Ford contrató la gestión teórica de Frederick Winslow Taylor para ayudar a trazar posibles soluciones.

La teoría de la gestión de Taylor fue fundada en el principio de que los trabajadores individuales serían más productivos si se les asignan tareas que estaban adecuadamente adaptadas a sus capacidades personales y a sus habilidades. Taylor argumentó además que eliminar el movimiento físico innecesario por los trabajadores incrementaría la productividad. En el primer año, 1908, se produjeron 10.000 coches a un precio de 850 \$.

Aun así, durante ese mismo año, Ford contrató a Taylor para observar a sus trabajadores y determinar los métodos más eficientes y de ahorro de tiempo para el aumento de la productividad de la empresa. Ford estudió las observaciones de Taylor y, viendo la progresión de 1908, comenzaron a incorporar la teoría científica de Taylor para la gestión en sus técnicas de producción. El primer paso de Ford fue evaluar las piezas individuales que se requieren para construir el automóvil, desde el más pequeño de los componentes al más grande. La aplicación de la teoría de Taylor durante la fase de montaje hizo que Ford determinara que las partes más grandes del coche deben permanecer estacionarias, mientras que las partes más pequeñas deben ser llevadas al vehículo según sea necesario. Esta estrategia aceleró el proceso de producción de manera significativa, pero no lo suficiente aún como para alcanzar el famoso objetivo de la excelencia en eficiencia productiva.

Para reducir aún más el tiempo de construcción de sus coches, Ford tenía a sus trabajadores fijos en una posición de la cadena de montaje, de manera que el cuerpo del vehículo avanzaba por los distintos puestos de trabajo. Los trabajadores tiraban del conjunto, mediante una cuerda, de una estación de trabajo a otra, permitiendo a cada trabajador realizar su tarea especificada antes de mover el coche a la siguiente estación. Este proceso se repetía hasta que el coche estaba completamente ensamblado.

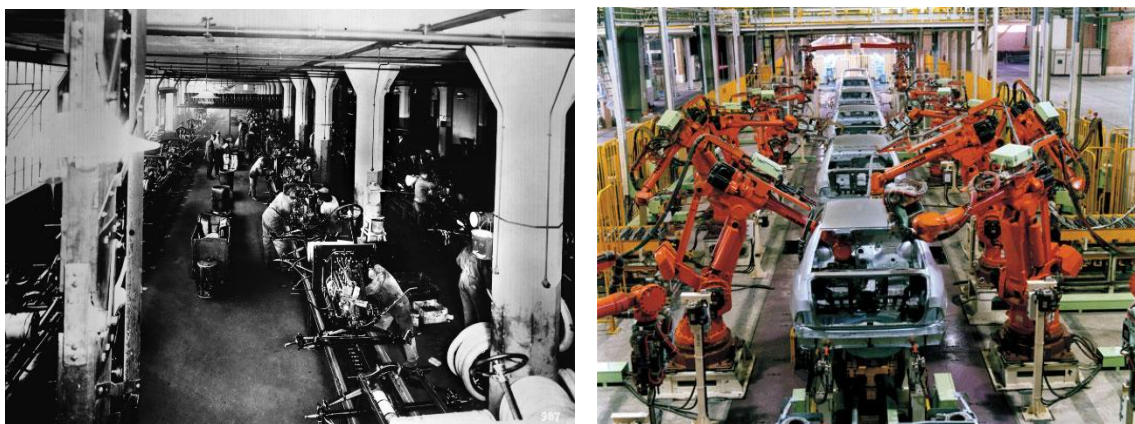


Ilustración 19. Comparación entre la cadena de montaje del Ford T (izquierda) [30] y una actual (derecha) [41]



Como Ford continuó observando su nuevo proceso de producción, se encontró aún más áreas que podrían mejorarse. Por ejemplo, se dio cuenta de que algunas tareas tomaban más tiempo en promedio para completar que otras, lo que le llevó a recalibrar métodos de utillaje en otras áreas para compensar los tiempos de espera más largos. Ford continuó mejorando y simplificando el proceso, y en 1913 se introdujo una completa línea de montaje de motor en su nueva fábrica en Highland Park, Michigan. En sólo algunos años, Ford había logrado disminuir la duración media de producción para un Modelo T hasta 93 minutos, y como consecuencia fue capaz de bajar el precio a 575 \$. En 1914, como se expone en la página 34, Ford tenía acaparado el 48% del mercado del automóvil.

El espíritu empresarial de Ford no conocía límites, al darse cuenta de que la drástica reducción en los precios se tradujeron en una mayor participación en el mercado del automóvil y, por lo tanto, una mayor rentabilidad, rápidamente se propuso reducir los precios a niveles manejables que incluso los trabajadores de sus fábricas podrían permitirse. En los primeros días de 1914, Ford elevó los salarios que pagaba a sus trabajadores de 2,83 \$ para una jornada de 9 horas a 5,00 \$ para una jornada de 8 horas. Como resultado, Ford mejoró enormemente la moral del trabajador y creció aún más su base de clientes potenciales. En 1924 los éxitos de las estrategias de Ford eran obvios, después de tan sólo 16 años de aplicación de la política científica de Taylor, había gestionado con habilidad la venta de 10 millones de automóviles.

El avance de la línea de montaje de automóviles de Ford produjo vehículos de alta calidad, aun siendo gama media, a precios asequibles que atrajeron a la población a una escala inimaginable. Su estrategia de línea de montaje se extendió a los procesos de fabricación de todas las industrias, cambiando para siempre la forma en que los productos serían producidos en masa. [8]

# TWENTY-ONE YEARS OF PRODUCTION

*Price of  
Model T  
Touring  
Car*

<i>Year</i>	<i>Production</i>	
1903 . . . . .	193	
1903-4 . . . . .	1,513	
1904-5 . . . . .	1,695	
1905-6 . . . . .	1,599	
1906-7 . . . . .	8,759	
1907-8 . . . . .	6,181	
1908-9 . . . . .	10,660	\$950.00
1909-10 . . . . .	19,051	780.00
1910-11 . . . . .	34,979	690.00
1911-12 . . . . .	76,150	600.00
1912-13 . . . . .	181,951	550.00
1913-14 . . . . .	264,972	490.00
1914-15 . . . . .	283,161	440.00
1915-16 . . . . .	534,108	360.00
1916-17 . . . . .	785,433	360.00
1917-18 . . . . .	708,355	450.00
1918—		
Aug. 1, 1919 . . . . .	537,452	525.00
Aug. 1, 1919—		
Dec. 31, 1919 . . . . .	401,982	525.00
1920 . . . . .	1,074,336	440.00
1921 . . . . .	1,013,958	415.00
1922 . . . . .	1,351,333	384.00
1923 . . . . .	2,090,959	295.00
1924 . . . . .	1,993,419	290.00
1925 . . . . .	1,990,995	290.00

## Fordson Tractors

1917 . . . . .	254
1918 . . . . .	34,167
1919 . . . . .	57,290
1920 . . . . .	70,955
1921 . . . . .	36,761
1922 . . . . .	68,985
1923 . . . . .	101,898
1924 . . . . .	83,010
1925 . . . . .	104,168

## Lincoln Motor Cars

1920 . . . . .	652
1921 . . . . .	2,249
1922 . . . . .	5,505
1923 . . . . .	7,825
1924 . . . . .	7,116
1925 . . . . .	8,415

Ilustración 20. 20 años de producción: Ventas y precios [42]



## 4 TEORÍA DEL MOTOR DEL FORD T

---

### 4.1 Información general del motor

El motor es el corazón del vehículo, el órgano que da vida a cada una de las partes del conjunto, sin él solo sería un amasijo de hierro y latón, y por tanto para entender cómo se mueve el Ford es necesario conocer en primera instancia todos los detalles de sus componentes y posteriormente una idea de su funcionamiento global. Esto ayudará para más adelante conocer el comportamiento de la transmisión. Para ello el primer paso es conocer las especificaciones generales antes de profundizar en lo minúsculo.

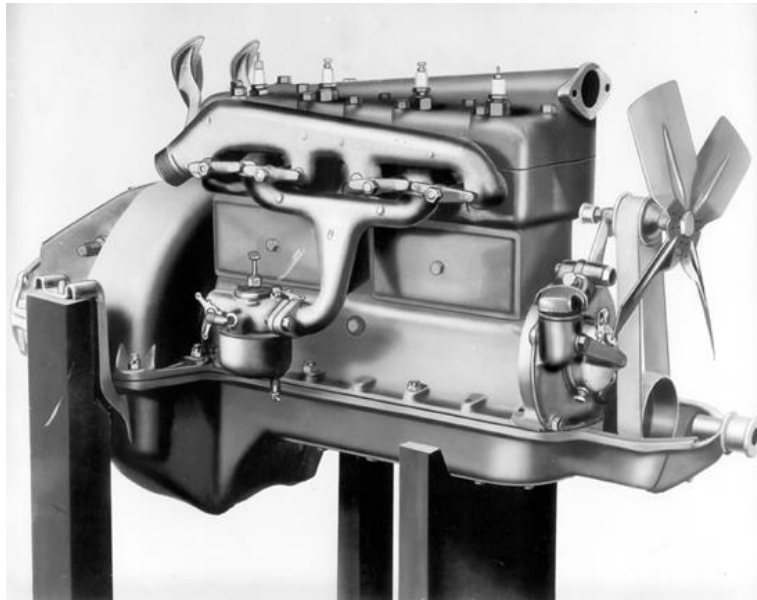


Ilustración 21. Representación gráfica del motor del Ford modelo T [43]

Como punto de partida, el desplazamiento, o volumen de aire empujado por cada uno de los pistones, era de 177 pulgadas cúbicas (2,90 L), con un reparto en línea de 4 cilindros distribuidos en un bloque motor. Tal elemento presentaba un diseño monobloque, que era una práctica poco común cuando la producción del modelo comenzó en 1908. Esto fue muy importante para la producción en masa pues hacía valer la filosofía de la compañía de Detroit reduciendo considerablemente el tiempo de montaje y fabricación. La culata, sin embargo, era desmontable, que no sólo ayudó a Ford en la fabricación, sino también a facilitar trabajos centrados en las válvulas como limpieza, pulido, o el reemplazo de las válvulas de resorte.

Tanto el bloque como la culata eran de hierro fundido, algo muy común en aquella época, aunque desde mitad del siglo pasado muchos son los poseedores de este vehículo que han optado por cambiar a una configuración de aluminio, beneficiándose del bajo peso a pesar de ser más ruidosos. Y es que este material reduce la “reciprocating mass” lo que libera de esfuerzo y desgaste al cigüeñal y a los cojinetes.

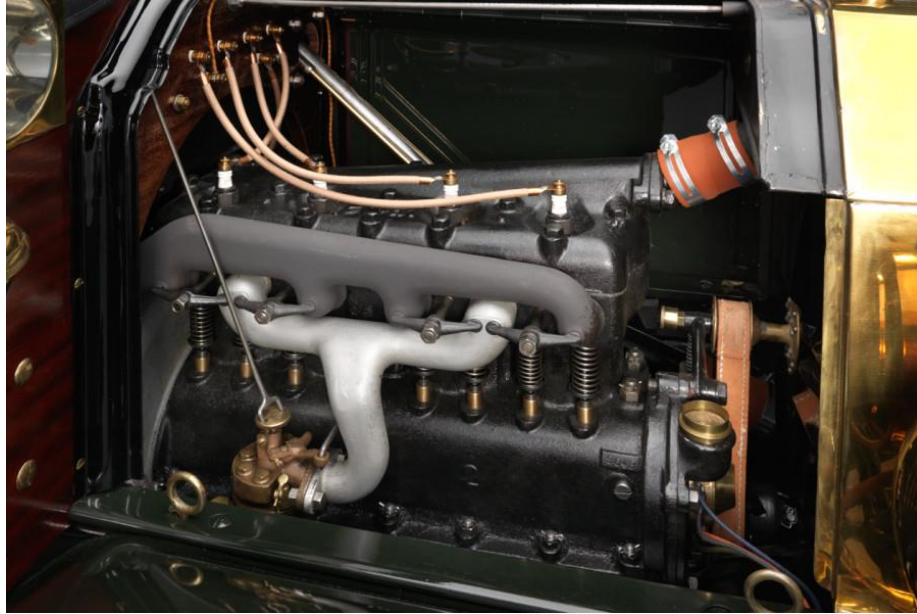


Ilustración 22. Vista del motor en el interior del vehículo [44]

Generalmente era un motor de gasolina, pero poseía la capacidad de operar también con otros combustibles como queroseno o etanol. A estos tipos de propulsores se denominaban de combustible flexible o multifuel. Según la propia compañía, el Modelo T tenía una autonomía del orden de 13-21 millas por galón estadounidenses, lo que en conversión sería 11-18 L / 100 km.

Con respecto al sistema propio de combustible, este modelo contaba con un carburador suministrado por grandes firmas como Holley, Zenith o Kingston, el cual no tenía bomba de aceleración y cuya válvula reguladora y de estrangulamiento se manejaban manualmente. Precisamente la válvula reguladora se controlaba con una maneta en lugar de un pedal.

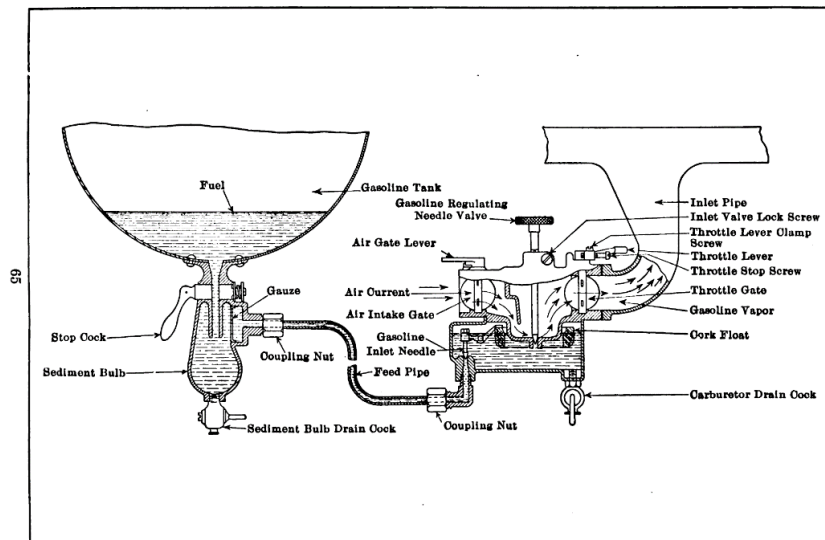


Fig. 14.—The Ford Model T Fuel Supply and Gas Making System.

Ilustración 23. Sistema de admisión [45]

Durante la mayor parte del ciclo de producción del T, el depósito de combustible se montaba bajo el bastidor del asiento delantero. Debido a que Ford se basó en la gravedad para alimentar al carburador en lugar de una bomba de combustible, este vehículo no podía subir una cuesta pronunciada cuando el nivel de gasolina era bajo. La solución inmediata y menos ortodoxa era subir las colinas escarpadas a la inversa. En 1926, el depósito de combustible se mueve hacia la parte posterior y hacia arriba, debajo de la cubierta en la mayoría de los modelos, o por fuera de ella como en la siguiente imagen de la derecha, lo cual mejoró la alimentación por gravedad.



Ilustración 24. Posición del tanque: en el centro (izquierda) [46] y atrás (derecha) [47]

La potencia de la cual presumía era de 20 CV (15 kW), alcanzando velocidades máximas de 45 mph (72 km / h). Cabe destacar que en los primeros años el motor desarrollaba 22 CV con una relación de compresión de 4,5:1 que se redujo



posteriormente a 4:1 en 1912 y luego de nuevo a 3,98: 1 para el resto del período de producción.

El diámetro de pistón era de 3 3/4 pulgadas (95,25 mm) y su carrera de 4 pulgadas (101,6 mm) para el desplazamiento comentado al inicio de este capítulo. Por otro lado la relación de compresión era baja en comparación con los estándares modernos, pero típicas de la época, por lo que minimizaba la influencia de una calidad de combustible pobre en esos tiempos y mitigaba el esfuerzo realizado por el propulsor en el arranque.

Al igual que harían con el bloque, muchos entusiastas del Modelo T de Ford se atrevían a incorporar accesorios o piezas modificadas para mejorar el rendimiento del motor. Esta actividad abarcaba entre otras acciones la ampliación de la culata, lo que mejoraba el diseño de la cámara, así como la reconstrucción de los colectores, por nombrar algunas marcas, Rajo o Frontenac eran comunes entre los que querían más de su T.

Un reemplazo común era la cabeza de aluminio "Z", la cual se hizo muy popular debido a sus ventajas. La "Z" aumentaba la compresión del motor Modelo T a 6:1, que añadía un plus de "empuje" extra para subir pendientes, lo que realmente hacía transformar el rendimiento de los propulsores de los habituales 20 CV estándar a aproximadamente 27 CV. Una aumento del 35% de la potencia era una mejora muy considerable para la época.

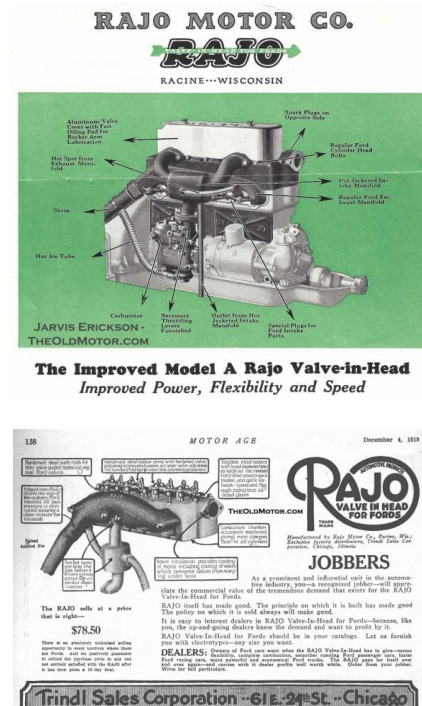


Ilustración 25. Anuncio de las culatas modificadas de Frontenac (izquierda) [48] y anuncios de las mismas de Rajo Motors para el modelo A (derecha) [49]

## 4.2 Descripción de elementos

Los elementos de esta parte del vehículo pueden considerarse infinitos, pero este modelado se centra en los más necesarios para el correcto funcionamiento. Se le dará, además, su correspondiente nomenclatura americana y así hacer referencia al mismo elemento de ambas formas, habida cuenta que algunas piezas son de difícil traducción al castellano.

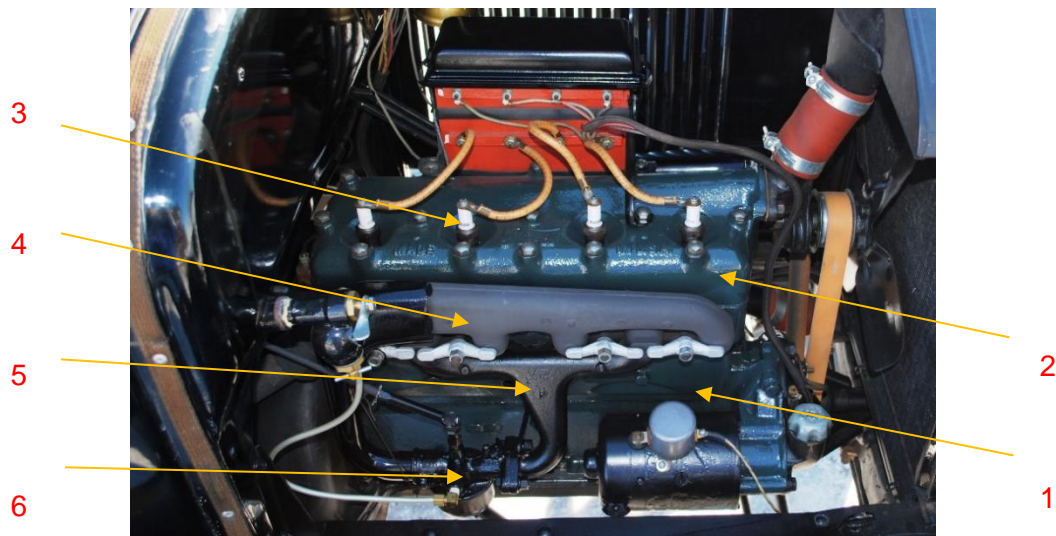


Ilustración 26. Imagen aclaratoria de las partes del exterior del motor [50]

Cabe mencionar en primer lugar la armadura del sistema, el **bloque**, o **Block** (número 1 de la Ilustración 26), la cual ejerce de cuerpo para la adición de todos los demás componentes. Estaba fabricada en hierro fundido como se comentó en la información general y su anatomía se vio modificada con el paso de los años, de manera que introdujeron pequeñas adiciones a sus primeras versiones.

Una destacable era una especie de caja que cubría los vástagos de las válvulas de la suciedad y los fluidos que podían rodear al sistema, y que le proporcionaba más durabilidad a estas partes.

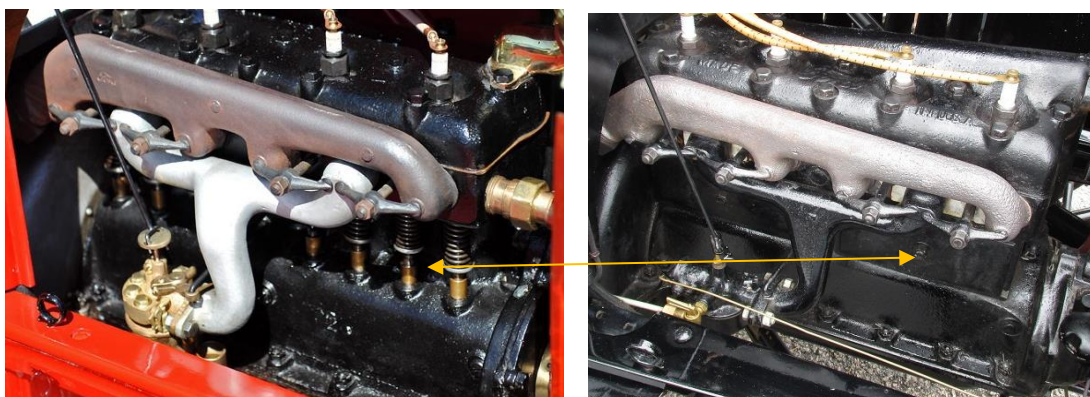


Ilustración 27. Cubierta de las válvulas: Sin cubierta (izquierda) [44] y con ella (derecha) [51]



Cubriendo el bloque se encuentra la **culata**, **Cylinder Head** o **Compression Head** (número 2 de la Ilustración 26), la cual posee unas cámaras donde el combustible y los gases pasan de las válvulas a los pistones y viceversa, están conectados en una distribución poco común en la actualidad pero muy utilizado entonces.

También forjados a hierro fundido, este elemento sostiene cada una de las **bujías**, o **Spark Plugs** (número 3 de la Ilustración 26), que en total eran cuatro unidades, una por cada cilindro, y las cuales se encargan de producir eléctricamente la chispa que explota el combustible empujando al pistón en una de sus cuatro fases de funcionamiento que se detallarán más adelante.

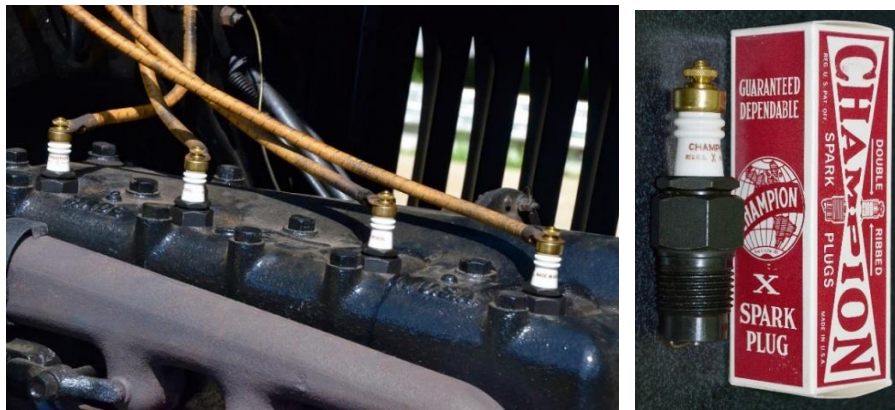


Ilustración 28. Bujías del modelo T: Instaladas (izquierda) [52]; pieza individual y caja (derecha) [53]

Es posible encontrar también la **toma de agua**, o **water connection**, la cual es la protuberancia en la parte superior de la culata y que actúa como conducto para la refrigeración del motor. El agua entra por dicho tubo llegando a una cámara llamada camisa de agua o water-jacket que se dispone a lo largo de la culata, justo encima de las cámaras de los pistones, para que se disipe el mayor calor posible y evitar un problema de sobrecalentamiento.



Ilustración 29. Cortes del motor donde apreciar la camisa de agua de la culata [54,55]

Y ahora es necesario adentrarse en el puro movimiento del sistema, que lo constituyen los **pistones**. Cada uno de los cuatro contribuye de misma manera para obtener la potencia del vehículo, y para ello sufren cuatro fases que todo cilindro de motor de cuatro tiempos sufre, admisión, compresión, expansión y escape. [4]

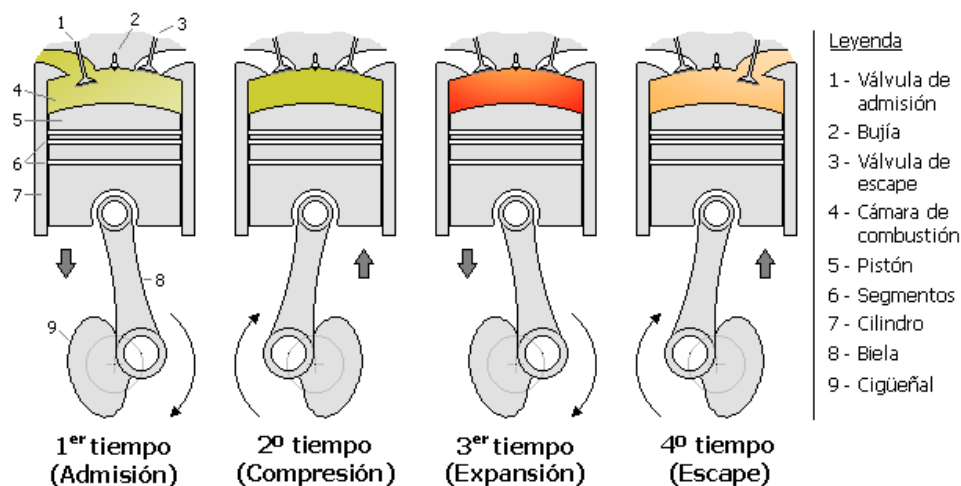


Ilustración 30. Fases de un motor de cuatro tiempos [4]

#### Tiempo 1: **ADMISIÓN**

En el primer tiempo una mezcla de gasolina y aire va a entrar en la cámara de combustión del cilindro. Para ello el pistón baja del punto superior del cilindro al inferior, mientras que la válvula (o válvulas) de admisión se abre y deja entrar esa mezcla de gasolina y aire al interior del cilindro, para cerrarse posteriormente.

#### Tiempo 2: **COMPRESIÓN**

En el segundo tiempo, con el pistón en su posición más baja y la cámara de combustión llena de gasolina y aire, la válvula de admisión se cierra y deja la cámara cerrada herméticamente. La inercia del cigüeñal al que está unida la biela del pistón hará que el pistón vuelva a subir y comprima así la mezcla.

#### Tiempo 3: **EXPANSIÓN**

Es en este preciso momento, con el pistón en lo más alto, la mezcla comprimida y a una alta temperatura, cuando la bujía genera una chispa que hace explotar violentamente esa mezcla. La combustión hace empujar el pistón hacia abajo con fuerza y la biela y el cigüeñal se encargan de convertir ese movimiento lineal del pistón, de arriba a abajo, en un movimiento giratorio.

#### Tiempo 4: **ESCAPE**

El pistón vuelve a subir en este cuarto tiempo y al hacerlo empuja los gases quemados productos de la combustión hacia arriba para que salgan por la válvula de escape que se abre con el fin de dejarlos salir y volver a dejar la cámara del cilindro vacía. No como durante la compresión, que permanecía cerrada.

Cabe decir que la distribución que siguen las válvulas en la explicación de la figura es más actual de lo que era en aquella época.

En esta ocasión se usaban las válvulas en una posición vertical, con la cabeza apuntando hacia arriba, y mediante la cámara comentada en el apartado de la culata se hacía incidir el combustible y la retirada de gases. Por supuesto, el funcionamiento en sí mismo era idéntico.

Con respecto al orden en el que se coordinan los pares de válvulas es 1-2-4-3, siendo 1 el más cercano a la parte anterior y 4 a la posterior, como se verá en la siguiente ilustración.

Por otro lado las **válvulas**, o **valves**, que se comentaban anteriormente, eran las encargadas de ejercer esta función de inyectar combustible y absorber los gases. Por cada cilindro existen dos unidades de ellas, que como se vio en la explicación del motor de cuatro tiempos, una se encarga de expulsar combustible y otra de recoger los gases. La distribución que siguen es la siguiente:

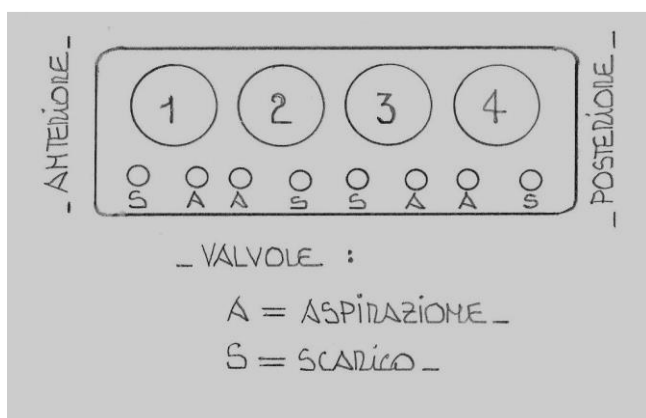


Ilustración 32. Disposición de las válvulas y pistones [57]

estudiar, aspira los gases quemados de cada unidad de válvula y no por parejas como en la admisión. El tempo al que éstas se abren viene dado por la configuración del árbol de levas.

Estos colectores nombrados, ejercen de conductos principales por los que el combustible asciende del carburador a los orificios de admisión, en el caso del **colector de admisión** o **Intake Manifold** (número 5 de la Ilustración 26), o aspira los gases quemados en el del **colector de escape** o **Exhaust Manifold** (número 4 de la Ilustración 26). El segundo dispone de cuatro salidas para las cuatro válvulas individuales de escape, mientras que el primero solo contiene dos entradas, una para cada pareja de válvulas de admisión.

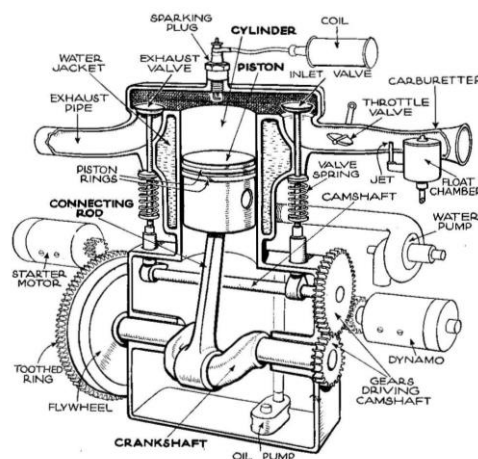


Ilustración 31. Representación gráfica del interior del motor [56]

Las válvulas de admisión, "A", se manejan por parejas, es decir, las dos entre los cilindros 1 y 2 (idem para 3 y 4) inyectan combustible por el mismo conducto proveyendo a ambos orificios a la vez gracias al colector de admisión, que se verá a continuación. En cambio, las válvulas de escape "S" se distribuyen individualmente, por lo que el colector de admisión, por

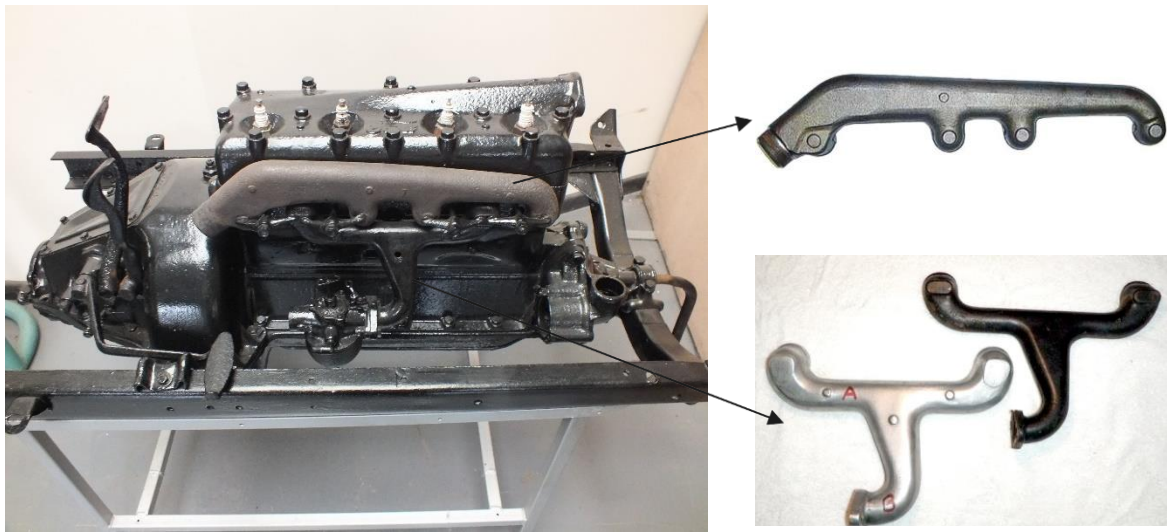


Ilustración 33. Colectores de admisión y escape (derecha) [59,60] y su posición general en el motor (izquierda) [58]

De vuelta a las válvulas, es necesario decir que vienen equipados con otros componentes que los complementan. En primer lugar, el árbol de levas (número 4 de la Ilustración 34) no transmite su movimiento directamente a la válvula (número 1 de la Ilustración 34), antes pasa por un **alzaválvulas, Push Rod o Tappet** (número 2 de la Ilustración 34), unido a ésta por el vástago. También destaca un **muelle**, o **Spring** (número 3 de la Ilustración 34), que hace que al subir la válvula, ésta se comprima creando una fuerza que obliga a la cabeza a bajar súbitamente, haciendo el sistema mucho más eficiente y fluido.

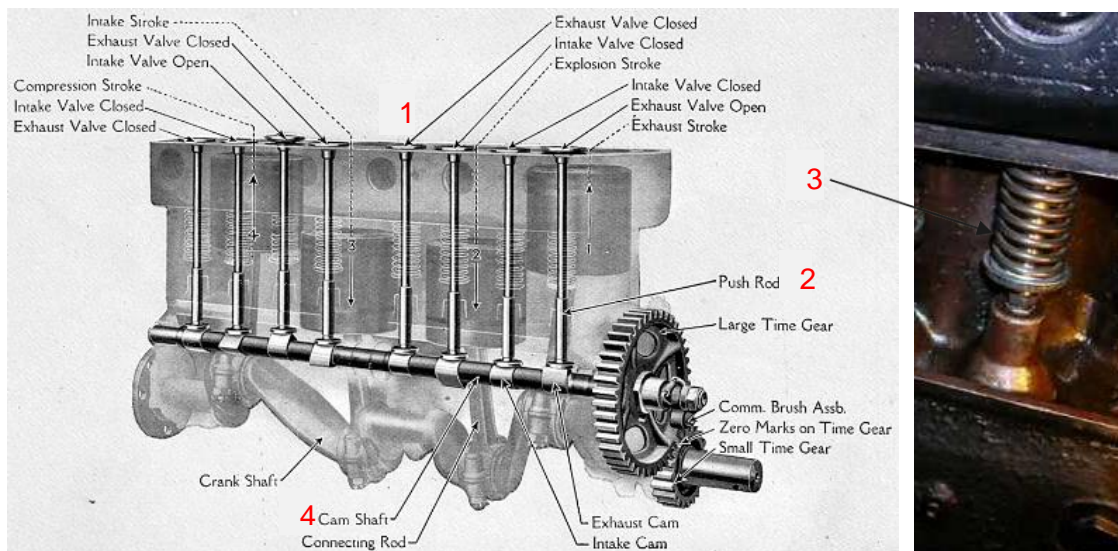


Ilustración 34. Imagen aclaratoria de las partes del interior del motor [61,62]



Todo este movimiento de subida y bajada de las válvulas tiene que proceder de algún lugar, y éste no es otro que el **árbol de levas**, o **Cam Shaft**. Este elemento consta de un número de protuberancias llamadas levas, dadas por el número de válvulas que presente el propulsor, con una forma específica, que al girar dichos salientes levantan o bajan el alzaválvulas y, por tanto, las válvulas.

El ángulo con el que apunta el eje de la leva con respecto a la vertical depende de los ingenieros, es este caso de Ford, para proporcionar la configuración más óptima, siempre respetando el tempo entre apertura de admisión y escape así como el orden de 1-2-4-3 de funcionamiento de los pistones.

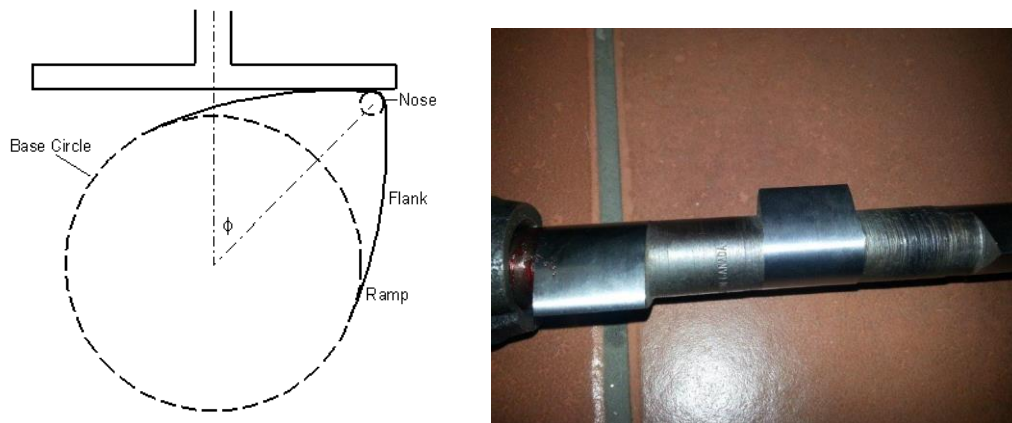


Ilustración 35. Boceto de la leva del modelo T (izquierda) y su representación real (derecha) [5,63]

Anteriormente se explicó el movimiento de los pistones pero no se entró en detalle de los elementos que están sujetos a ellos como la biela o a aquellos componentes que da movimiento como el cigüeñal.

En primer lugar la **biela**, o **Connecting Rod**, es el nexo de unión entre el pistón y el cigüeñal, con dos articulaciones móviles en sus dos extremos que le permiten un rango de movimientos fluido y sin entorpecer la transmisión de dicho movimiento. Su función es meramente permitir la conversión de movimiento de translación del pistón en movimiento rotatorio del cigüeñal y viceversa.

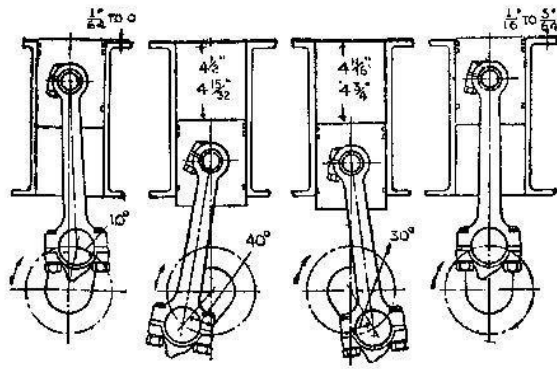


Ilustración 36. Boceto explicativo del movimiento de la biela del modelo T (izquierda) [57] y su representación real (derecha) [64]

Este elemento está articulado en el extremo inferior por el **cigüeñal**, o **Crank Shaft**, el cual transmite el movimiento rotatorio al volante de inercia que se verá en el capítulo de la transmisión. Su estructura es tal de manera que dos pistones siempre se encuentran en la posición opuesta a los otros dos, es decir, cuando dos pistones se encuentran en lo más alto, alcanzando el PMS, el otro par ha llegado a lo más bajo donde se establece el PMI. Estos valores son el punto muerto superior y punto muerto inferior, que indican el valor máximo y mínimo que alcanza la superficie superior del pistón en un ciclo y que varían según el motor e incluso según el paquete de pistones instalados.



Ilustración 37. Cigüeñal: instalado (izquierda) y de forma aislada (derecha) [65,66]



## 5 MODELADO DEL MOTOR DEL FORD T

---

### 5.1 ELEMENTOS PRINCIPALES

#### 5.1.1 Block

El primer elemento se trata del bloque, sin lugar a dudas, el más complejo, voluminoso, importante y más laborioso de cuantos se han realizado en este trabajo. Para su modelado se ha realizado un estudio de la metodología a usar en su construcción. Como si de una vivienda se tratase, el bloque se dividió en varios módulos que harían de plantas en el ejemplo anterior. En primer lugar, se escogió lo más alto de la parte superior, que contacta con la culata, como punto de partida, creando el primer módulo. Sobre él, se erigió la zona de los pistones, es decir, los cuatro cilindros junto a las dos “cajas” de las válvulas. Para finalizar la parte pura de motor, se modeló la zona donde se encuentran el árbol de levas y el cigüeñal, que configuraba el tercer módulo.

Debido a que el bloque está dividido en dos partes: superior e inferior, se creó la parte inferior de forma que dejará el hueco suficiente para los componentes anteriores y sabiendo que debía acoplarse a la perfección con la parte superior.

Por otro lado, se pensó si crear el bloque de la transmisión unido al bloque de motor o por separado, escogiendo la primera opción debido a que, a efectos prácticos, son un solo conjunto. Para ello, se operó de la misma manera que en el bloque motor pero en el eje contrario, avanzando por capas a través del eje de la transmisión y formando, finalmente, el módulo transmisión.

Para simplificar el proceso de descripción de modelado en CATIA se va a disponer a comentar las órdenes usadas en las partes más importantes de cada módulo.

- Módulo 1: La zona de los pistones y las válvulas se creó mediante un **Sketch** con todos huecos que se necesitaban, extruyendo mediante **Pad**. Para los agujeros se recurrió a **Sketch** y la orden **Pocket** de vaciado, multiplicando esta operación mediante **Rectangular Pattern**. Finalmente los ocho agujeros correspondientes al escape y a la admisión se crearon, de nuevo, mediante **Sketch** para dibujar, **Pocket** para vaciar y un patrón, **Rectangular Pattern** para realizar las copias.
- Módulo 2: Los cilindros se modelaron de forma análoga, puntualizando en que el **Sketch** se realizó sobre el plano inferior del módulo 1. La caja rectangular de las válvulas se creó sobre el plano vertical, y las guías de las



válvulas (salientes cilíndricos), en concreto 16 unidades, se crearon multiplicando la primera unidad de ellas, con un **Pattern**.

- Módulo 3: Quizás el más sencillo de todos. Un **Sketch** en el plano YZ y con la orden **Pad**, valió para crear la zona inferior en bruto. La zona donde se encuentran los engranajes helicoidales se produjo con la misma metodología, varios dibujos y extruyendo, al igual que las tres “paredes” donde se apoya el cigüeñal y el árbol de levas. Se recurrió a la orden **Pocket** para vaciar los distintos huecos y **Edge Fillet** para suavizar todos los bordes agudos, que en este módulo eran varios.
- Módulo transmisión: Para comenzar, se conformó mediante un **Pad** circular de espesor 40 mm donde se aloja el volante de inercia y vaciándolo con **Pocket** en un plano interior al **Pad**. La última zona del bloque de la transmisión se ha creado con la orden **Multi Section Solid**, dibujando dos perfiles y obteniendo la forma sólida que va de uno a otro perfil. El apoyo de la cubierta de la transmisión se formó a partir de un nuevo **Pad** en dicho plano.

Muchos detalles se han saltado por alto para no hacer esta explicación excesivamente larga, y a la vez dar una visión general de lo que ha sido el modelado de este elemento. Otro motivo para resumir el proceso es la idea de conocer la metodología a seguir y los problemas en cada una de las piezas, por lo que no tendría sentido excederse en este apartado.

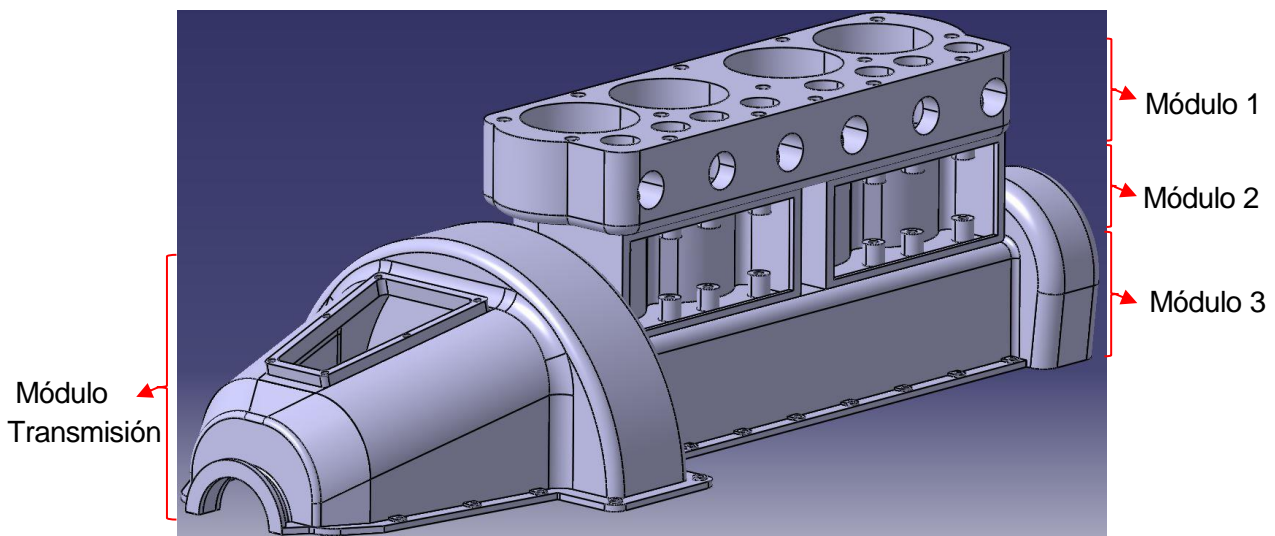


Ilustración 38. Modelo de la parte superior del bloque del motor I: Vista frontal y módulos

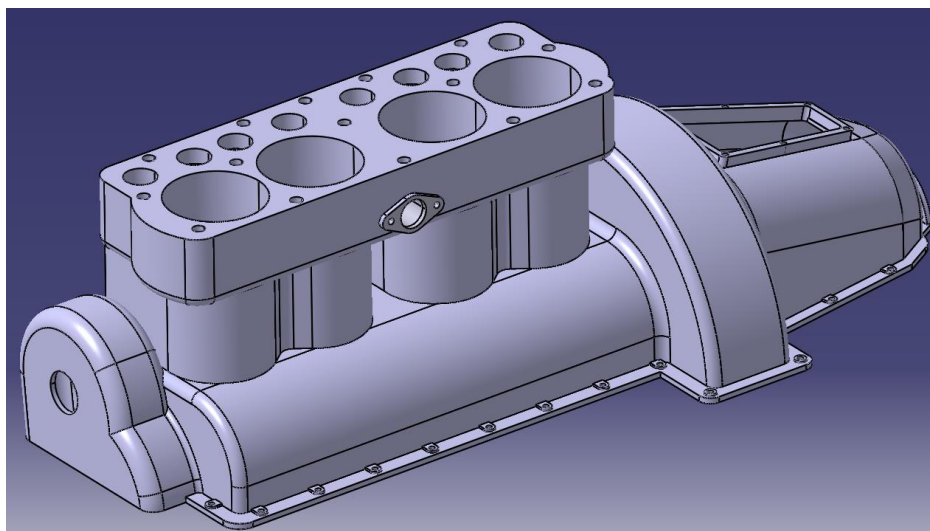


Ilustración 39. Modelo de la parte superior del bloque del motor II: Vista trasera

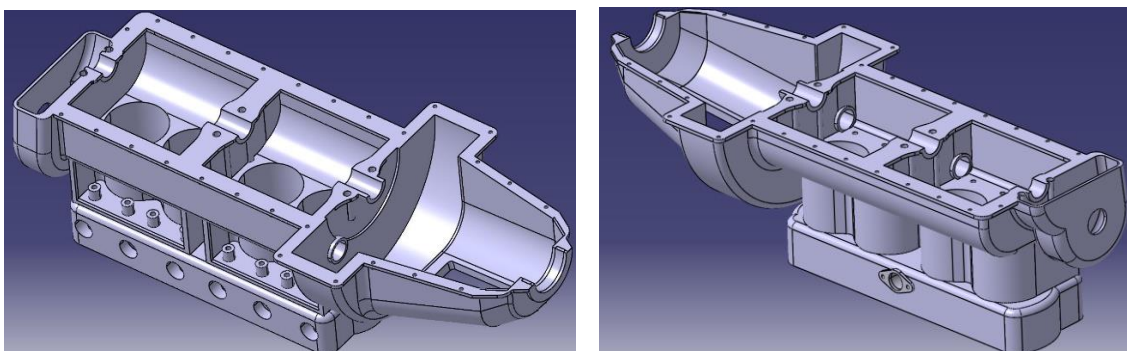


Ilustración 40. Modelo de la parte superior del bloque del motor III: Vista inferior frontal (izquierda) e inferior trasera (derecha)

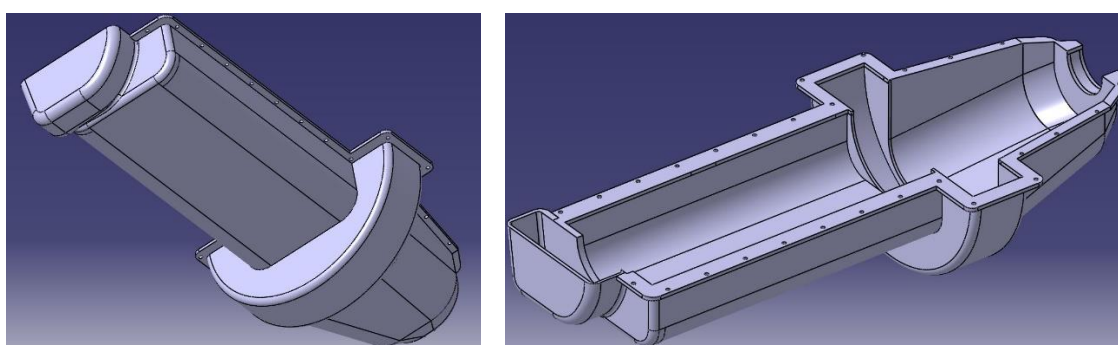


Ilustración 41. Modelo de la parte inferior del bloque del motor: Vista inferior (izquierda) y superior (derecha)

### 5.1.2 Cylinder Head

Poca información sobre las dimensiones de la culata aparece en los catálogos o manuales, únicamente las referencias de los diámetros de los cilindros y de las válvulas, que conforman las cámaras de este elemento. Con esos datos como punto de partida se realizó una interpolación con imágenes por ordenador de la junta de culata, lo que daba una aproximación muy fiable. La longitud de la culata, que es la del motor en general, es de 467.99 mm, por un ancho de 163.22 mm y un grosor de 60 mm. La longitud y diámetro de la toma de agua es orientativo, ya que no es una parte crucial. Por otro lado, los agujeros que unen la culata con el bloque son conocidos, de 11.11 mm.

Para ejecutar todo lo anterior se realizó un **Sketch** con la forma bruta de la pieza, posteriormente con **Pad** se elevó, y de nuevo con **Sketch** y el comando **Pocket** se vaciaron las cámaras de combustión. Para la toma de agua, se creó un plano oblicuo de 355° horarios con respecto a la vertical, y mediante un **Sketch** con la forma del conducto, se extruyó. Para redondear los bordes se usó la conocida orden **Fillet**. Los agujeros se realizaron con **Hole** y la camisa de agua, es decir, las cámaras de agua para la refrigeración mediante la orden **Shell** de vaciado.

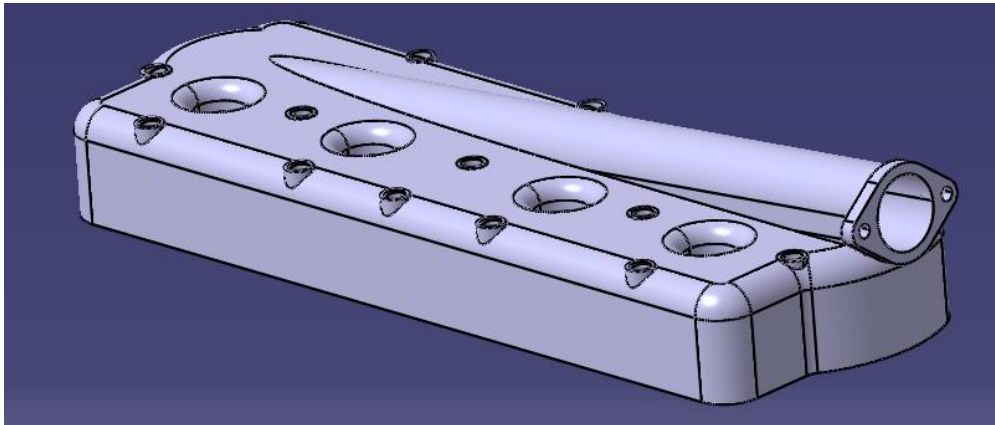


Ilustración 42. Modelo de la culata

### 5.1.3 Valves

Afortunadamente, la geometría de las válvulas era algo conocido por especificaciones, ya que es una pieza con una importancia vital. 126.68 mm de longitud total, con 117.17 mm de longitud del vástago y 7.88 mm de diámetro. La

cabeza de la válvula tiene un diámetro de 32.16 mm, así como un ángulo de 45° en el chaflán. Dimensiones muy concretas que daban lugar a escasas especulaciones.

En el tema de diseño, en primer lugar se operó con un **Sketch**, dibujando la mitad de la silueta de la pieza, para posteriormente convertirla en sólido con la orden **Shaft**. Para culminar, un pequeño agujero, de 2.8 mm dado también por guía y que se llevó a cabo mediante **Hole**.

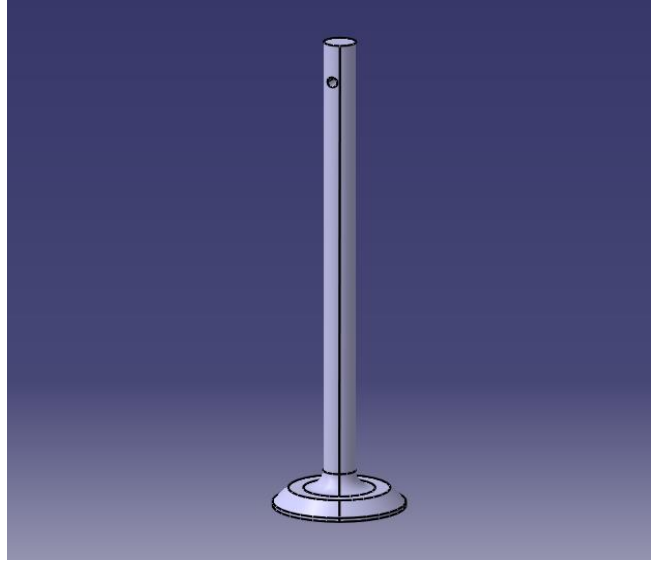


Ilustración 43. Modelo de la válvula

#### 5.1.4 Tappet

También denominado Push Rod, tanto la longitud: 51 mm, como el diámetro del vástago, 7.88 mm y el diámetro de cabeza, 17.473 mm, eran sabidos por especificaciones, de manera que todo se encontraba bien definido.

Con un Sketch que representaba la mitad de la silueta de la pieza y posteriormente un Shaft se consiguió reproducir la figura deseada. Como se ha visto, este Part era muy sencillo de ejecutar.

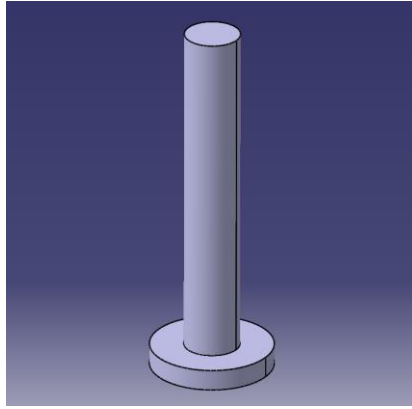


Ilustración 44. Modelo del alzaválvulas

### 5.1.5 Piston

Debido a su gran relevancia en el sistema, es posible encontrar mucha información acerca de este componente. Consta de una dimensiones de alto-diámetro del mismo orden, siendo el primero 96.77 mm contra 95.25 mm de diámetro exterior. Algunos datos como ángulo del chaflán superior o el grosor del pistón no se conocían pero viendo imágenes se han logrado estimar imitando las proporciones. Los alojes de los anillos son conocidos, así como el agujero del Wrist Pin, de 18.79 mm y su longitud 47.55 mm.

Para proceder, en primer lugar se ha dibujado con **Sketch** la mitad de la silueta del pistón, y con **Shaft** se ha realizado una extrusión por revolución. Posterior mente se ha vaciado el interior con **Pocket**. El comando **Hole** ha ayudado a hacer el agujero, mientras que con un nuevo **Sketch** y **Pad** se ha creado el eje del **Wrist pin**, o las paredes del agujero. Por último **Chamfer** para rebajar el borde del agujero.

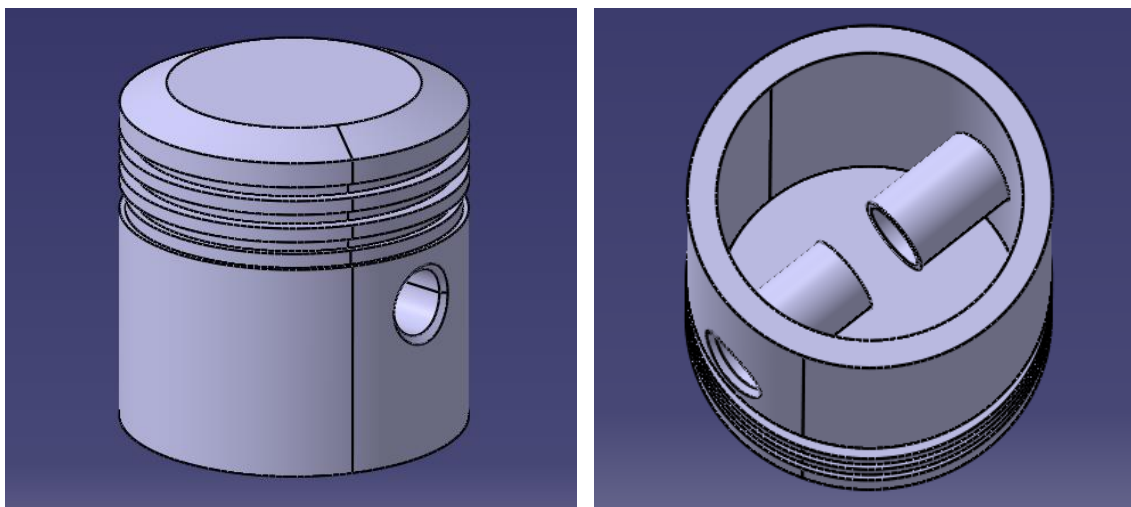


Ilustración 45. Modelo del pistón: vista superior (izquierda) e inferior (derecha)

### 5.1.6 Connecting Rod

Las bielas tienen como parámetros más importantes de diseño la longitud entre los centros de los apoyos y los diámetros de estos. Ambos datos eran recogidos en los catálogos por lo que fue relativamente sencillo diseñar este elemento. Otros datos como la altura de los apoyos eran dados indirectamente en las especificaciones del cigüeñal y del bulón del pistón. Siendo, en definitiva, 178 mm de longitud, 31.7 mm el diámetro de la cabeza de biela, que es el de los codos del cigüeñal, y 18.8 mm del pie de biela, que coincide con el del Wrist Pin.

Un primer dibujo del cuerpo de biela era una buena base para comenzar el diseño. Posteriormente las circunferencias del pie y la media de la cabeza, más los salientes que alojan los pernos de unión, que con **Pad** se traducían en el diseño en bruto de la pieza. Finalmente con **Fillet** y **Chamfer** se ha suavizado toda arista afilada, ya que es una de las piezas más manipuladas por los operarios y mecánicos.

En resumen, pocos comandos usados, pero por el contrario mucho tiempo de perfeccionar los detalles, lo cual se ha transformado en la única dificultad de la operación.

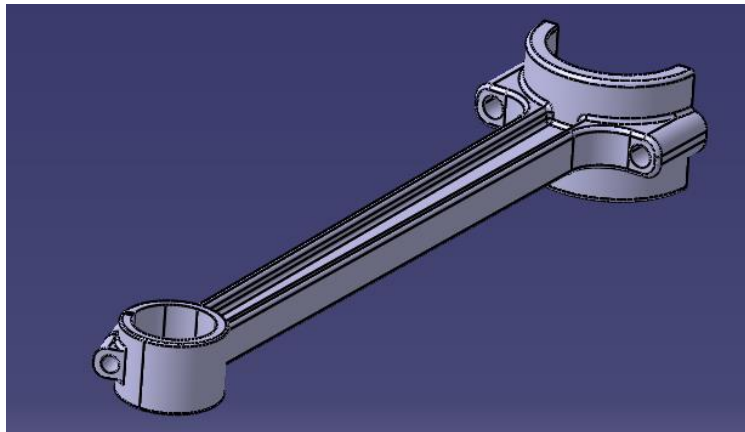


Ilustración 46. Modelo de la biela

### 5.1.7 Crank Shaft

Los datos conocidos eran exclusivamente los diámetros y longitudes de los codos o muñequillas del cigüeñal, es decir, no se conocía la forma de los brazos o de los contrapesos, pero sus dimensiones eran fácilmente deducibles, dado que conociendo las longitudes de los codos se restringía el espacio a los demás elementos. Dicha longitud era de 38.227 mm y diámetro de 31.7 mm para los codos, mientras que los muñones principales también eran conocidos con idéntico diámetro y 55.667 mm de longitud.



La complejidad de la pieza se vio traducida en numerosas creaciones de planos para los codos, y en utilizar la forma óptima de contrapesos y brazos, pero finalmente todo se llevó a cabo mediante **Sketch** en los distintos planos y luego con el comando **Pad** darle la profundidad. **Fillet** fue usada para rebajar todas las aristas vivas, puesto que es una pieza muy manejada por operarios, no puede contener ningún filo cortante. En definitiva, la dificultad radicó en plantear en diseño y el tiempo para ejecutarlo, más que en el número de comandos a usar.

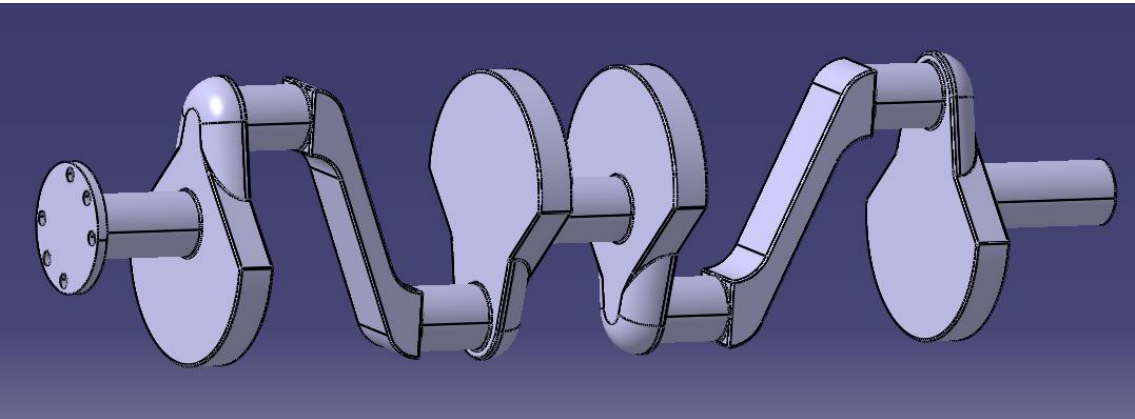


Ilustración 47. Modelo del cigüeñal

### 5.1.8 Cam Shaft

La mayor dificultad en la creación de esta importante pieza era la orientación que los ingenieros de Ford habían dado a las levas, así como sus dimensiones. Consultando las especificaciones se determinaron todos los datos necesarios para orientar y modelar de forma fiable una de ellas.

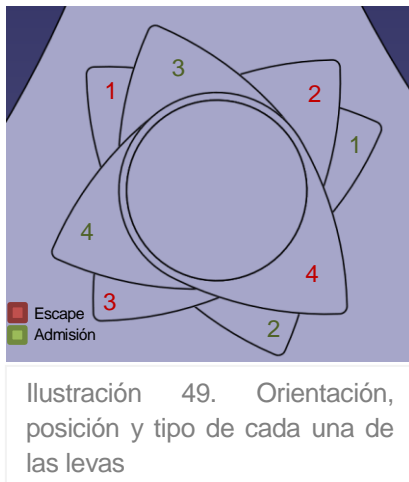
El siguiente problema que surgió fue la orientación, o desfase en grados, de las tres levas restantes con respecto a esta primera. Debido a que esto no se encontró en especificaciones, se propuso el valor de 45°, siempre manteniendo el orden 1-2-4-3 de acción de las válvulas.

Original Model T Camshaft Specifications <sup>1</sup>	
Intake Opening	12.67 deg. ATC
Intake Closing	50.82 deg. ABC
Intake Centerline	121.75 deg. ATC
Intake Duration	218.15 deg. (crankshaft)
Exhaust Opening	37.87 deg. BBC
Exhaust Closing	0 deg. TC
Exhaust Centerline	108.94 deg. BTC
Exhaust Duration	217.87 deg. (crankshaft)
Angle Between Lobes	115.35 deg. (camshaft)
Gross Lift	0.2502 in
Base Circle Radius	0.4060 in
Nose Radius	0.0313 in
Flank Radius	1.2601 in
Lifter Radius	0.5 in
Bearing Outside Radius	0.6875 in

Ilustración 48. Tabla de especificaciones del árbol de levas. [5]

Sabiendo estos datos, era necesario plantearse el modelado de la rueda dentada helicoidal, que se encuentra en la zona frontal de la pieza.

Con respecto al modelado, la metodología a usar, al igual que se hiciera en el bloque motor, fue construcción por etapas o partes. En primer lugar, se creó el primer cilindro liso, sobre éste se hizo el Sketch con la forma y las especificaciones de la primera leva de escape, y con Pad se dio forma. De nuevo otro cilindro liso de 30 mm y la segunda leva, esta vez de admisión, también con los datos de la tabla. Las tres levas restantes de cada tipo son las primeras giradas progresivamente 45°.



Con respecto al modelado de la rueda dentada helicoidal, se opera de forma idéntica al engranaje del cigüeñal. En primer lugar se crea el cilindro bruto con **Sketch** y la orden **Pad**, posteriormente dibujando en el plano horizontal la silueta del diente y dándole profundidad se tendrá el primero de ellos. Con la orden **Circular Pattern** se tendrán las 48 unidades. Finalmente con **Chamfer** se rebajarán los dientes para mejorar el contacto entre engranajes.

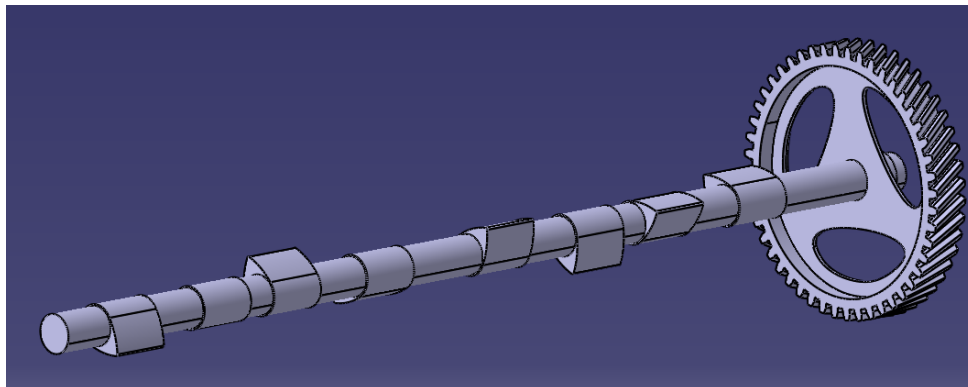


Ilustración 50. Modelo del árbol de levas

### 5.1.9 Intake Manifold

Éste ha sido un ejercicio de imitar la forma y proporciones mediante imágenes originales. Solo se contaba con el diámetro de las dos salidas del conducto, a partir de ahí no eran conocidas las medidas generales, que han sido supuestas.

Para ello se ha dibujado con **Sketch** la forma en bruto de la pieza y se ha extruido con **Pad**. Obviamente, la forma de una sección del colector es más próxima a circular que a rectangular, por lo que se recurrió a **Fillet** para redondear lo máximo posible los bordes, resultando una sección con la forma deseada. Luego se procedió con **Sketch** y **Pad**, añadiendo las dos salidas con las dimensiones conocidas, y la



junta de unión con el carburador. Finalmente, como es lógico, el conducto debe ser hueco por su interior, puesto si no fuera así no sería conducto, por lo que se utilizó la orden **Shell**, para vaciar el interior con el espesor que se considerara oportuno. La dificultad en esta pieza fue dada por la falta de información de las dimensiones de la “T” del colector.

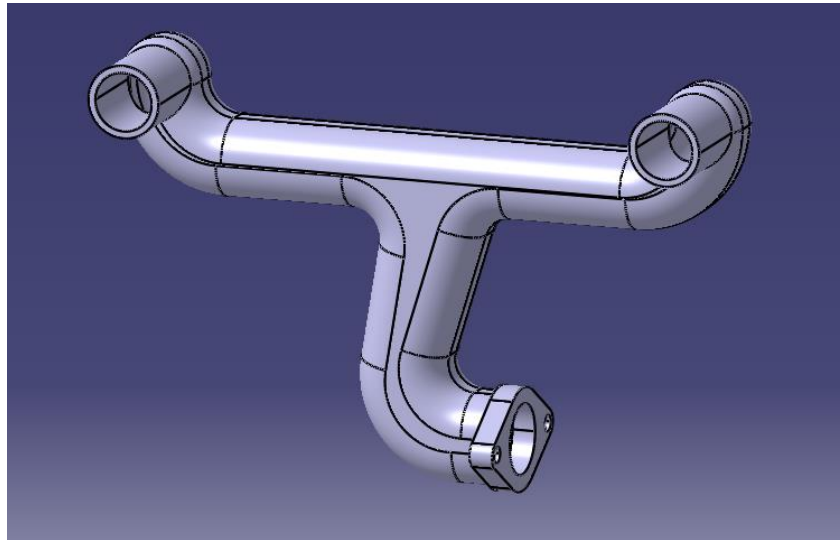


Ilustración 51. Modelo del colector de admisión

### 5.1.10 Exhaust Manifold

En este caso la experiencia fue similar que con el Intake Manifold, puesto que solo se conocía el diámetro de las cuatro entradas, que era el mismo que el de las salidas del colector de admisión. La forma general de la pieza, al igual que anteriormente, no se conocía con exactitud, por lo que con ayuda de imágenes se trató de darle la mayor fidelidad posible.

De nuevo análogamente con el Intake Manifold, la pieza bruta se creó con **Sketch** y **Pad**, pero al ser la sección mucho más redondeada se decidió proceder con **Fillet**. Hecho esto, de nuevo con **Sketch** y **Pad** se crearon las entradas de aspiración y la salida a escape, con forma circular. Para vaciar el interior se usó **Shell**. Las dificultades encontradas también fueron idénticas a las del colector de admisión.

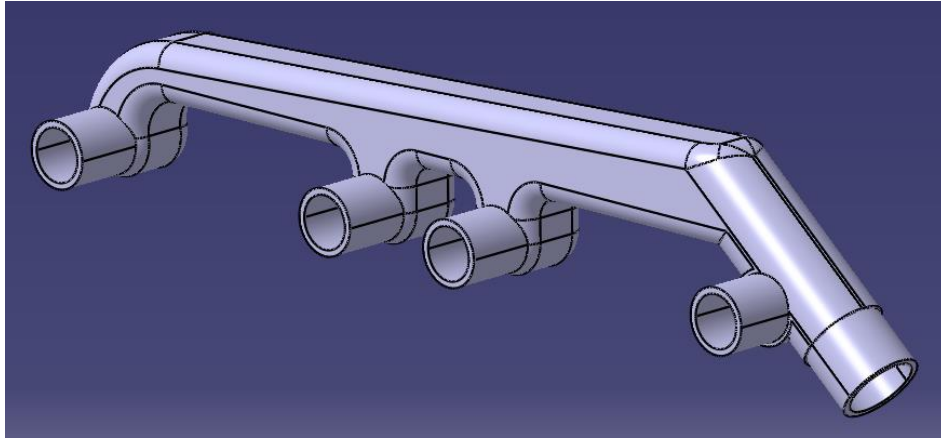


Ilustración 52. Modelo del colector de escape

### 5.1.11 Cam Bearings I: Front

Las tres dimensiones más importantes para definir este elemento son la longitud, el diámetro interior y el exterior, todos dados por especificaciones salvo el diámetro exterior que se ha supuesto aplicando coherencia. Dicha longitud total está fijada en 49.96 mm, con diámetro interior 19 mm y exterior de 32 mm. Los detalles de contorno tienen una geometría supuesta, ya que no es crucial para el buen rendimiento de la pieza.

El modelado se ha realizado con un **Sketch** dibujando las circunferencias, mediante la suborden *Conic* se ha creado el detalle longitudinal de la pieza. Con el comando **Pad** se ha extruido la longitud comentada, para después con **Sketch** y **Groove** hacer el detalle que rodea al apoyo. Con **Hole** se ha terminado haciendo el agujero, de diámetro aproximado.

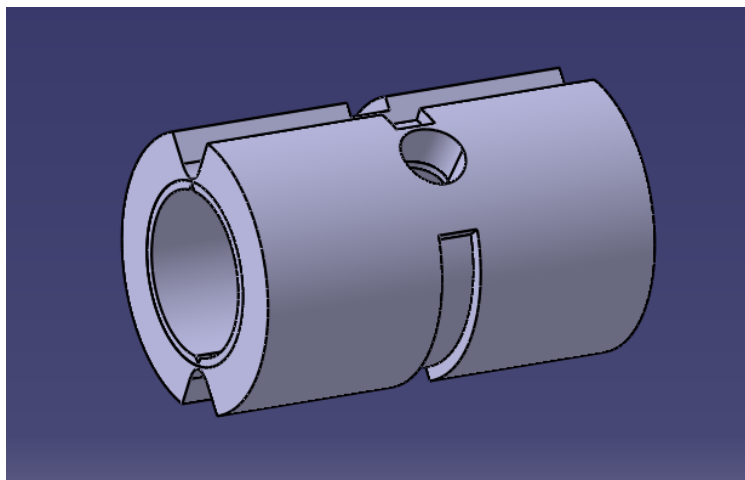


Ilustración 53. Modelo del rodamiento frontal del árbol de levas

### 5.1.12 Cam Bearings II: Center

Al igual que el anterior apoyo, los datos encontrados eran la longitud y el diámetro interior del árbol de levas con el cual contacta. El valor de longitud, eso sí, era diferente, con 61.9 mm. El resto de detalles, salientes, bandas, etc... ha sido diseñado en función de imágenes.

Su ejecución ha sido prácticamente idéntica al cojinete frontal, con la salvedad de haber usado en varias ocasiones las órdenes **Chamfer** y **Fillet** para rebajar ciertas zonas.

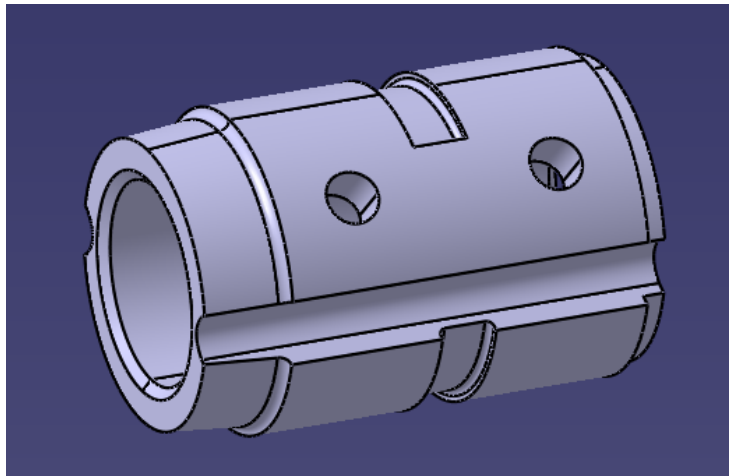


Ilustración 54. Modelo del rodamiento central del árbol de levas

### 5.1.13 Crank Bearing I-II: Center-Front

Debido a su geometría prácticamente idéntica se decidió modelar ambos componentes como si fueran uno solo, y a la hora de ensamblar reproducir dos copias. El diámetro interior de los dos es igual, el de los muñones del cigüeñal, pero en el caso de la longitud el primero es del orden de 1 mm mayor que la del segundo, algo prácticamente imperceptible sabiendo que la longitud total es de 50.8 mm, por lo que se decidió no construir un nuevo Part por esta diferencia.

Para crear este componente, en primer lugar se dibujaron las circunferencias exterior e interior, luego la orden **Pad** para darle grosor. Posteriormente se operó de la misma forma con los soportes con agujeros donde se introducen los tornillos, cuyos diámetros se dedujeron debido a que no consta en especificaciones. Con **Tritangent** se curvaron los dos relieves y con **Chamfer** y **Fillet** se rebajaron y suavizaron las esquinas y aristas.

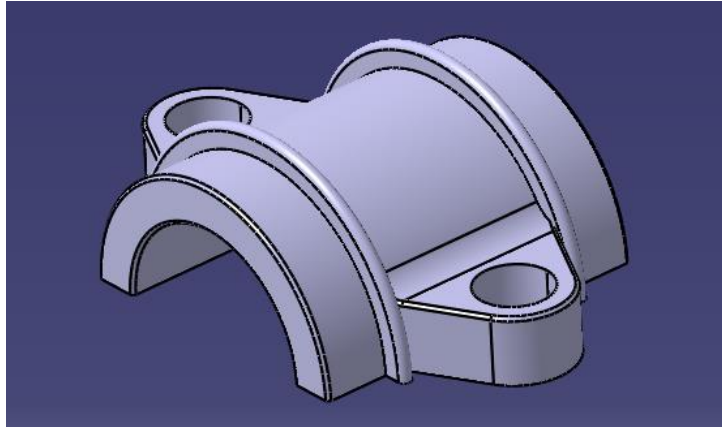


Ilustración 55. Modelo del apoyo frontal y central del cigüeñal

### 5.1.14 Crank Bearing III: Rear

La geometría de este tercer apoyo es similar al de los dos anteriores pero con una longitud considerablemente mayor, ahora el valor es de 79.4 mm. El diámetro interior de nuevo es exactamente el de los muñones del cigüeñal.

Su diseño ha demorado un tiempo muy comparable a los anteriores, tan solo el añadido de dos bandas más de refuerzo y algún achaflanado y/o redondeo adicional, utilizando los mismos comandos, por lo que las dificultades encontradas son compartidas por el trio de cojinetes.

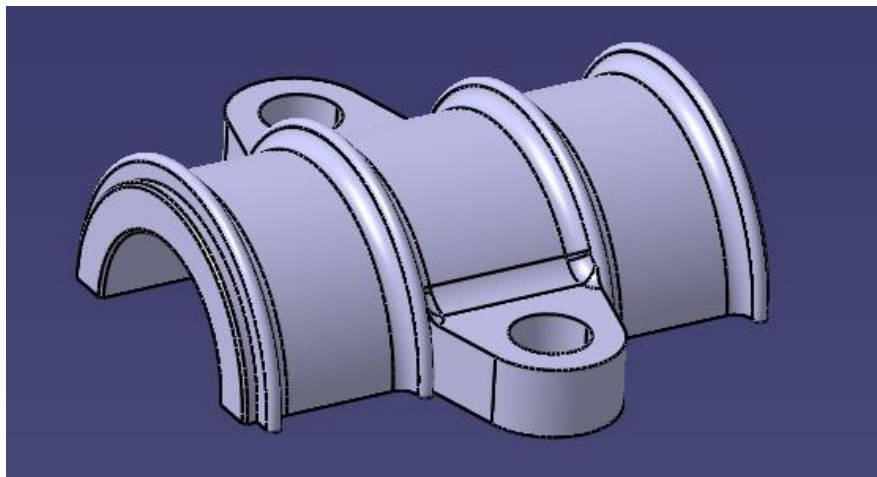


Ilustración 56. Modelo del apoyo trasero del cigüeñal

### 5.1.15 Spring

El muelle era un elemento del que no se conocía nada y, de nuevo, se dedujo por proporciones, mayoritariamente la longitud de éste y su diámetro nominal. Se fijó el primer valor a 51.775 mm y el segundo a 22.85 mm, con un paso en la parte central de 3 mm, mientras que el paso en los extremos es de 1 mm.

En cuestiones de modelado, en primer lugar para crear la parte central se colocó un punto de inicio de la hélice a la distancia deseada. Mediante la suborden *Helix* se creó la trayectoria, para posteriormente con un dibujo de circunferencia en **Sketch** de diámetro 0.925 mm y la orden **Rib**, crear el sólido. Pero es sabido que los extremos de los muelles tienen un paso inferior a la parte central, por términos de amortiguación y fatiga, por lo que se crearon dos nuevas hélices de la misma forma en los dos extremos, pero con un tercio del paso central.

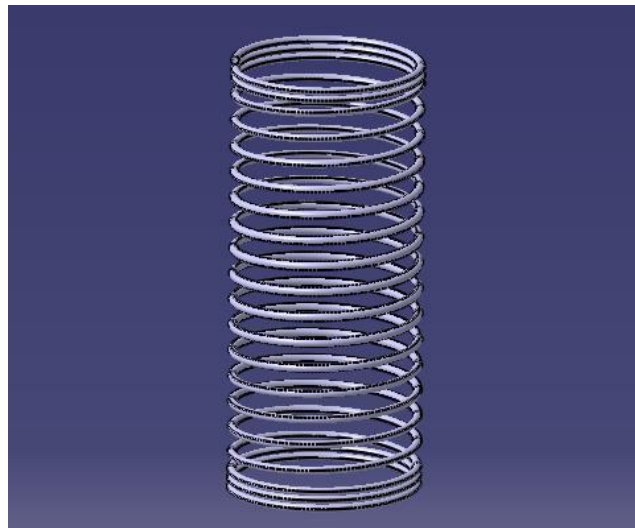


Ilustración 57. Modelo del muelle de las válvulas

## 5.2 ELEMENTOS MENORES

Se definen estos componentes como aquellos que, o bien su geometría es muy sencilla, o su importancia en el funcionamiento es secundaria. Ni que decir tiene que sin estos elementos el sistema no podría funcionar, pero no son de la contundencia de los anteriores.

### 5.2.1 Wrist Pin

Esta pieza es, en esencia, un cilindro que ejerce de bisagra, con su diámetro exterior y longitud perfectamente definidos en manuales. En números, 89 mm de longitud por 18.8 mm de diámetro nominal. Se ha pensado que el agujero central es para aligerar algo el peso de la pieza, ya que su función es simple y no tiene sentido que incremente, aunque solo sean decenas de gramos, el peso del conjunto biela-pistón.

Su creación ha sido muy sencilla, un **Sketch** con dos circunferencias, exterior e interior, que con **Pad** se han convertido en sólido. Finalmente mediante **Sketch** y **Pocket** se ha vaciado la muesca observable en la pieza real y reproducida en este modelo.

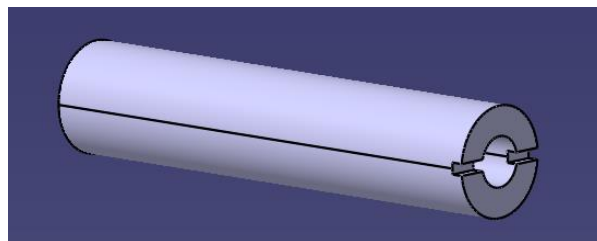
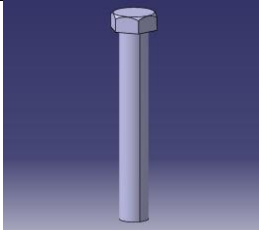
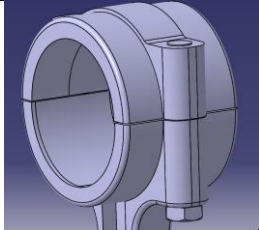


Ilustración 58. Modelo del pasador del pistón

### 5.2.2 Engine Screws

Cada uno de los tornillos necesarios para fijar el motor ha sido modelado siguiendo los datos de geometría de sus agujeros, conocidos de otras piezas. Se ha prescindido de modelar la rosca a nivel estético ya que no es crucial para el modelado y requiere una carga de trabajo adicional importante debido al número de estos.

Unidad	Dimensiones	Tornillo individual	Tornillo instalado
Connecting Rod Screw	Longitud de rosca: 35 mm  Diámetro nominal: 5.3 mm		

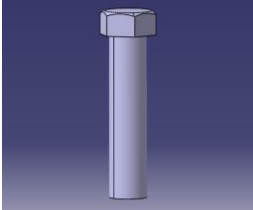
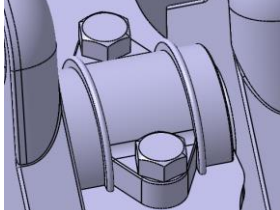
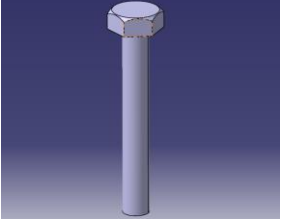
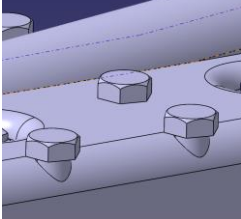
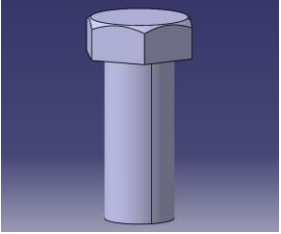
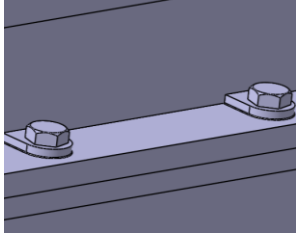
CrankShaft Screw	Longitud de rosca: 48 mm  Diámetro nominal: 11 mm		
Cylinder Head Screw	Longitud de rosca: 80 mm  Diámetro nominal: 11.11 mm		
Block Screw	Longitud de rosca: 13 mm  Diámetro nominal: 5.476		

Ilustración 59. Tabla de modelos de los diferentes tornillos

### 5.2.3 Spring Retainer

Este elemento de sujeción entre la válvula y el muelle tiene una geometría sencilla definida por el diámetro nominal del muelle, debido a que este debe apoyarse en su interior, siendo 21 mm.

Para crearlo se ha utilizado un **Sketch** con la silueta de la pieza y mediante **Shaft**, ya con el agujero realizado en el dibujo, se ha dado vida al componente.

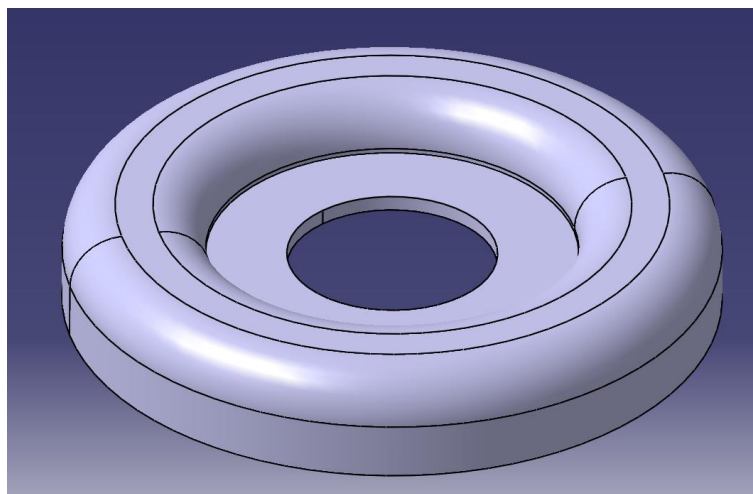


Ilustración 60. Modelo del enganche del muelle



## 5.2.4 Retainer Pin

Mediante un simple **Sketch** circular y un **Pad**, se ha creado un pequeño cilindro de 2.3 mm de diámetro, que es la dimensión del agujero que se encuentra en el vástago de la válvula. Su longitud es estimada.

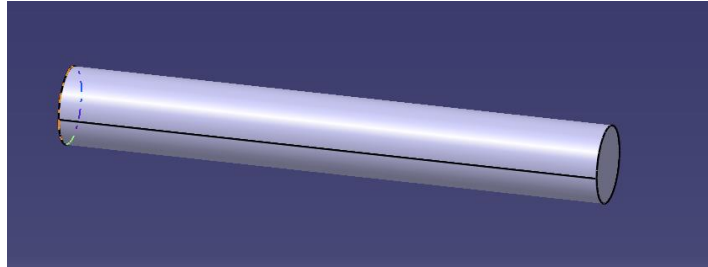


Ilustración 61. Modelo del pasador del enganche

## 5.3 ELEMENTOS AJENOS

### 5.3.1 Spark Plug

Debido a la naturaleza de la pieza, se puede clasificar como eléctrica más que mecánica, y ya que es un proyecto de carácter mecánico, se ha decidido apartar este elemento de los demás, con el fin de dejar claro que no corresponde a un elemento puramente mecánico, pero que ha sido modelado para explicar de manera más visual el funcionamiento del motor y las cuatro fases de éste.

Sus dimensiones no eran conocidas, por lo que se ha dispuesto de una imagen de una pieza real y se ha tratado de reproducir el contorno lo más fielmente posible, habida cuenta que no es necesaria una gran precisión ya que su función es meramente visual.

Para ello, un **Sketch** con la mitad del contorno de la bujía y posteriormente protusionar con la orden **Shaft**, fue suficiente para crear la pieza bruta. Por otro lado, el moleteado superior se realizó creando un **Sketch** con la forma de la ranura, **Pocket** para eliminar el material y finalmente **Circular Pattern** para repetir la operación hasta completar la circunferencia.

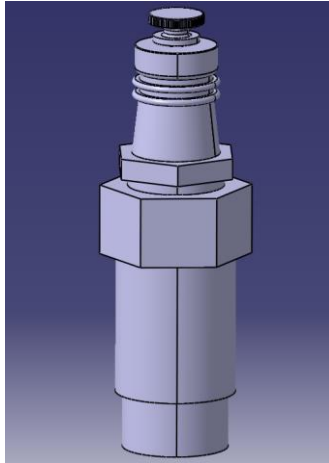


Ilustración 62. Modelo de la bujía

### 5.3.2 Valves Door

Las dimensiones de este elemento venían determinadas por las dimensiones de la “caja” donde se encuentran las válvulas, pues está cubierta se coloca por ajuste y no mediante tornillos. Finalmente se las dimensiones totales de la cubierta fueron: 205 mm de largo, 85 mm de ancho y 3 mm de espesor de los marcos.

La forma de operar ha sido relativamente sencilla, creando un rectángulo con **Sketch** de las dimensiones anteriores y con **Pad** crear el paralelogramo; posteriormente otro rectángulo en la cara frontal para crear la zona en relieve. Como ajuste para su colocación se ha creado en la parte posterior un doble rectángulo, extruido con **Pad**, que encaja. Finalmente se ha modelado una pequeña bola para la fácil extracción de la cubierta.

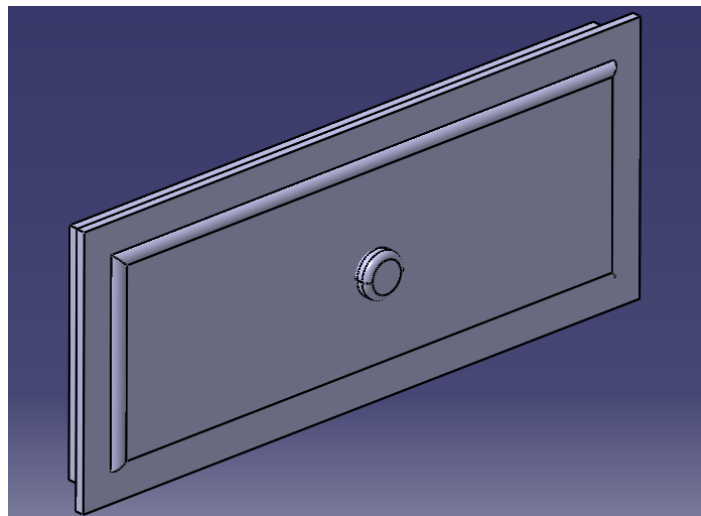


Ilustración 63. Modelo de la cubierta de válvulas



## 6 TEORÍA DE LA TRANSMISIÓN DEL FORD T

### 6.1 Descripción de elementos de la transmisión

La transmisión del Ford Modelo T es tal vez la parte menos comprendida del vehículo americano. En todas las investigaciones realizadas sobre su funcionamiento, la transmisión parece tener la menor cantidad de información disponible, al menos en términos mecánicos. Por lo tanto es necesaria una exhaustiva explicación para comprender como trabaja este elemento tan importante en la dinámica del coche, así como entender la implicación de cada una de las partes.

Para comenzar hay que centrarse en el centro neurálgico del sistema, que son sus engranajes y tambores, los cuales le dan el movimiento oportuno, dejando para más adelante los elementos menos determinantes. Es crucial comprender los diferentes componentes de manera que se pueda establecer el vínculo entre la explicación, los componentes y su acción global.

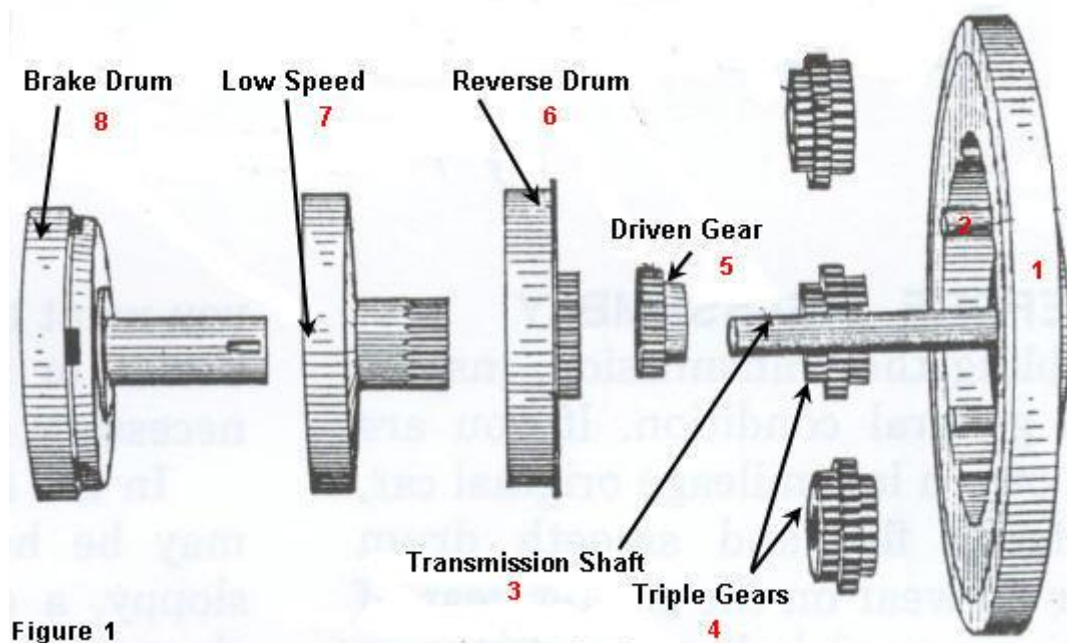


Figure 1

Ilustración 64. Imagen esquemática de las partes de la transmisión (I) [6]

El volante de inercia (número 1 de la Ilustración 64), obviamente, proporciona el movimiento que se transfiere a través de la transmisión. Tiene unido a él un eje que confiere el movimiento del volante y, por ende, de la transmisión (número 3 de la Ilustración 64) al resto de elementos del sistema. Se pueden observar tres pequeños ejes o pasadores (número 2 de la Ilustración 64) que emergen de la superficie interior del volante, en los cuales irán ensartados tres engranajes triples.

Estos engranajes triples (número 4 de la Ilustración 64) se montan en sus pines en consonancia con el volante de inercia, que gira con él, pero también es capaz de girar sobre sus propios pasadores en cualquier dirección, al mismo tiempo a medida que giran con el volante. Algo así, análogamente, como el movimiento que realiza la Tierra, la cual rota sobre su eje así como realiza una translación alrededor del sol al mismo tiempo, por lo tanto, se trata de una transmisión planetaria. Los engranajes triples tienen este nombre, no sólo porque hay 3 de ellos, sino también porque cada uno contiene tres engranajes diferenciados por distintos número de dientes o relaciones de transmisión.

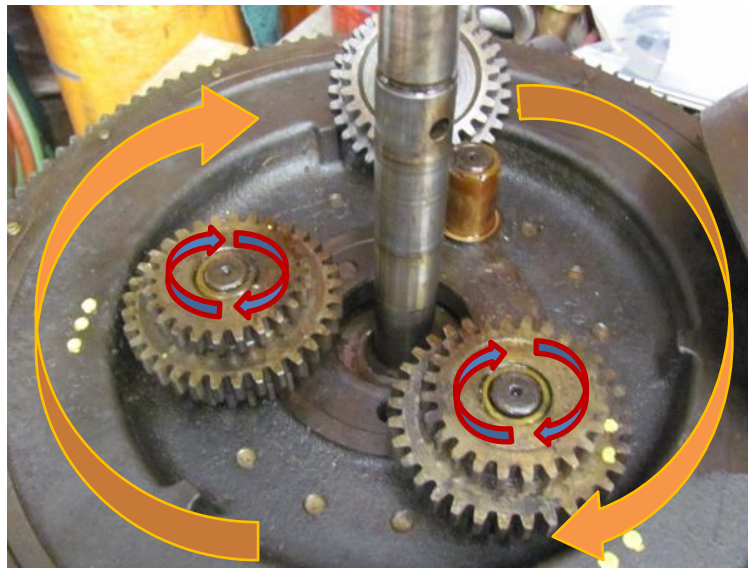
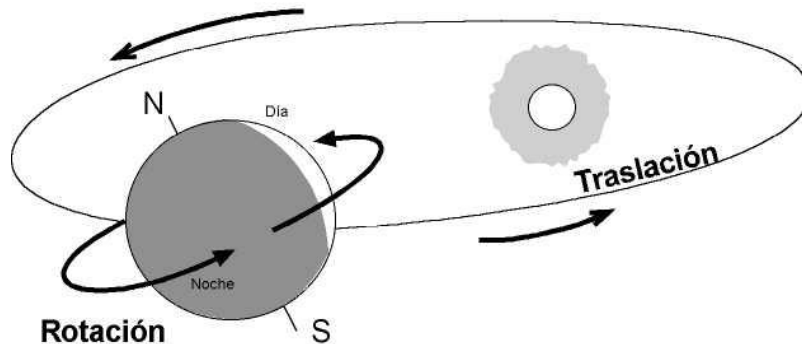


Ilustración 65. Carácter planetario del sistema: movimiento terrestre (arriba) [67]; movimiento de los engranajes (abajo) [68]

Después en línea es el engranaje conductor o Driven Gear (número 5 de la Ilustración 64), este está montado en el eje de transmisión contra el volante, pero no "incrustado" en él, de manera que puede girar independientemente del eje, y por tanto, del movimiento del volante de inercia. En concreto está unido al tambor de freno o Brake Drum, del cual se hablara más adelante. Dicho engranaje conductor está engranado con el primer engranaje individual de los engranajes triples (véase la ilustración 66), esto es, el más cercano al volante.

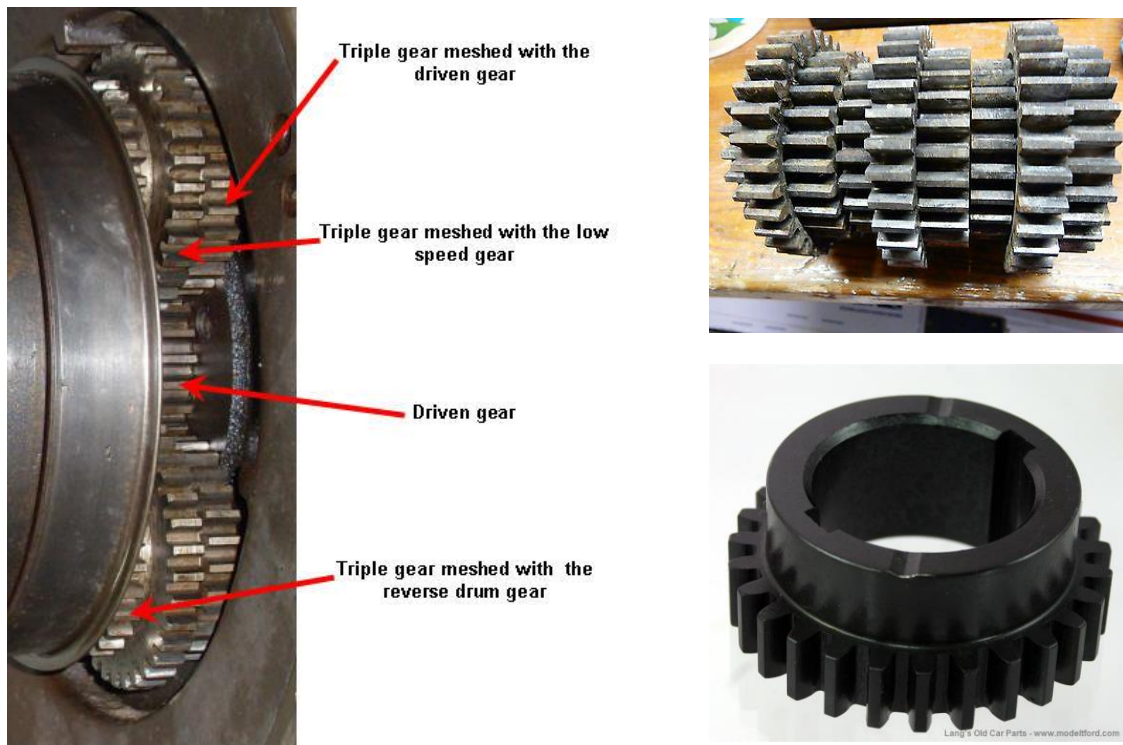


Ilustración 66. Engranaje conducido y triples engranajes: instalados (izquierda) [6] y pieza individual (derecha) [69,70]

Este conjunto se comporta como el ejemplo de sistema planetario anteriormente visto, creando el mismo efecto que tenía el volante sobre los triples engranajes, de manera que los triples engranajes rotan sobre ellos mismos, engranados con el conductor y trasladándose alrededor de éste.

A continuación tenemos el tambor de marcha atrás, inverso o también llamado Reverse Drum (número 6 de la Ilustración 64). El engranaje del tambor inverso es fijo, así que lo que hace el engranaje, el tambor le sigue solidariamente. Este tambor se desliza sobre el eje de transmisión sin estar adherido a él, de manera que el engranaje engarza con la última rueda del conjunto del triple engranaje que está más alejados del volante.





Ilustración 67. Imagen real de un tambor inverso o marcha atrás [71]

El siguiente en línea es el tambor de baja velocidad o Low Speed Drum (número 7 de la Ilustración 64). El engranaje que se observa en éste también se encuentra fijado a su tambor como ya lo hacia el Reverse Drum, y su longitud es mayor al del tambor inverso. Esto es debido a que pasa a través del centro de tambor de marcha atrás, es decir actúa como un eje en sí mismo con cabeza dentada y, por tanto, es capaz de engranar con el segundo conjunto de dientes de los triples engranajes.



Ilustración 68. Tambor de baja velocidad: acoplado a los demás tambores (izquierda) [72] y pieza individual (derecha) [73]

Si se continúa en la sucesión de elementos del ensamblaje, se encuentra el tambor de freno o Brake Drum (número 8 de la Ilustración 64). El tambor de freno también gira alrededor del eje de transmisión, pero no tiene dientes de engranaje. En lugar de ello, tiene una "extensión" que pasa a través tanto del tambor de baja velocidad como del tambor inverso, con un chavetero que se utiliza para bloquear el engranaje



conducido a ella. Esto significa que el Driven Gear gira de forma solidaria con el tambor de freno, lo que hace el segundo lo ejecuta el primero.



Ilustración 69. Tambor de freno: acoplado a los demás tambores (izquierda) [74] y pieza individual (derecha) [75]

Por otro lado, y entrando en la segunda fase de los elementos del sistema, el tambor de freno proporciona una "carcasa" dentro de la cual se ajustan el tambor de disco de embrague (número 1 de la Ilustración 70) y los propios discos (número 2 de la Ilustración 70).

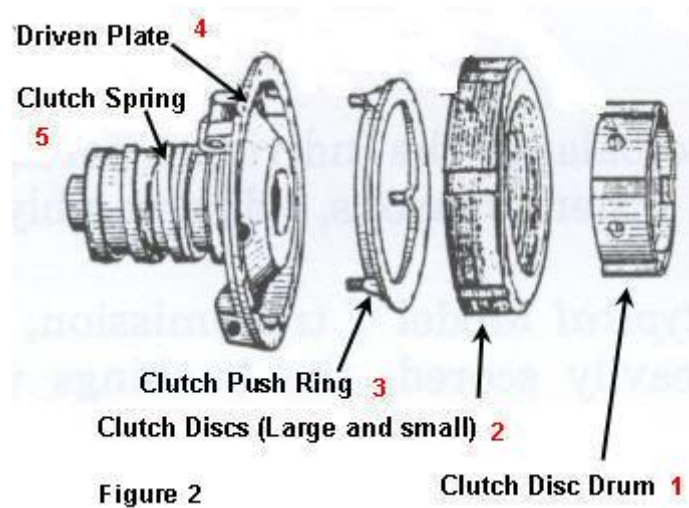


Ilustración 70. Imagen esquemática de las partes de la transmisión (II) [6]

El conjunto del embrague proporciona la "ruptura" física entre la acción del motor y el eje trasero, sin él, el coche siempre se movería en cada instante que el motor estuviera en marcha y a ritmo de él. El embrague se compone de dos conjuntos de diferentes discos de acero de distintos tamaños. El conjunto más grande tiene rebajes en su circunferencia que se acoplan con los salientes del interior del tambor

de freno, de modo que estos discos giran solidariamente con el Brake Drum. Entre cada disco de los grandes se coloca un pequeño disco que se acopla con el tambor de disco de embrague o Disc Drum, éstos se intercalan y se basan en el aceite de motor para proporcionar lubricación y evitar el desgaste.

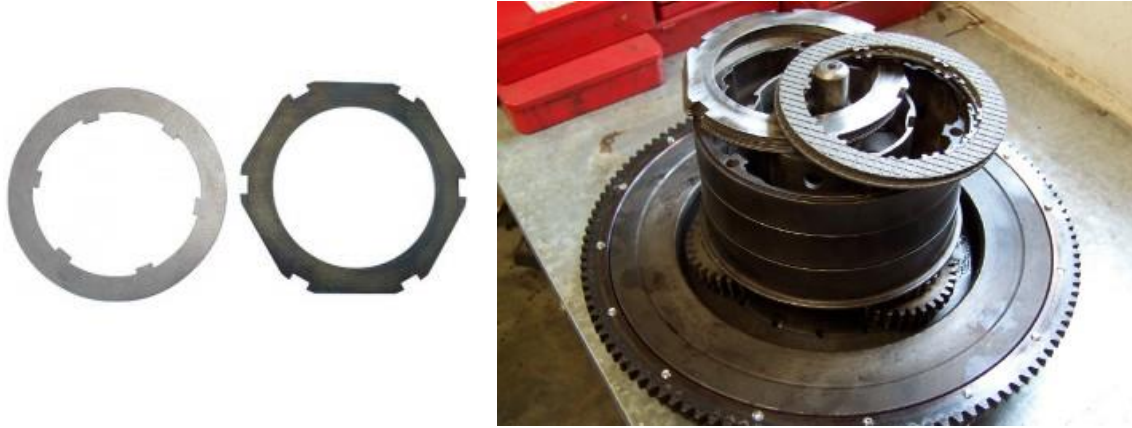


Ilustración 71. Discos de embrague: en su posición global (izquierda) [76] y vista individual (derecha) [77]

El tambor de disco de embrague está fijado al extremo del eje de transmisión y por lo tanto gira con él, al igual que los pequeños discos de embrague. Su fijación se produce mediante un perno que atraviesa ambas partes para unirlos y hacer que se muevan al unísono.



Ilustración 72. Imagen real de un tambor de discos de embrague [78]

El siguiente elemento en el sistema ensamblado es el anillo de empuje de embrague, esto como su descripción sugiere empuja contra los discos de embrague

y que a su vez es accionado por el plato conductor y sus brazos. El plato conductor o también llamado Driving Plate (número 4 de la Ilustración 70) proporciona el enlace físico entre el eje motor y el eje trasero. Se atornilla al tambor de freno y por lo tanto está conectado al engranaje conducido.

También hay que destacar el muelle de embrague (número 5 de la Ilustración 70), que es el resorte que proporciona la presión, y que se "magnifica" por la acción de palanca de los brazos de embrague del Driving Plate, comprimiendo los discos de embrague cuando es necesario mediante el paso de presión a través del anillo de empuje (número 3 de la Ilustración 70), que está unidos a los brazos del Driving Plate a través de un tornillo de sujeción.



Ilustración 73. Acople final de la transmisión [79]

Externamente, los controles de la transmisión son tres pedales, uno para el tambor de baja velocidad (y de alta velocidad / control de embrague), otro para el tambor de marcha atrás, y un último para el tambor de freno. Además, por supuesto, de la palanca del freno de emergencia.

La combinación pedal-palanca que el piloto decida manejar tendrá un efecto u otro en el muelle del embrague, permitiendo o evitando que éste empuje a los discos de embrague. Cada pedal, al pisarlo, actúa sobre su tambor correspondiente, debido a una conexión en forma de abrazadera sobre el exterior del tambor, que lo pinza. Todas las combinaciones serán estudiadas posteriormente.

Antes de proceder, sin embargo, es importante señalar que el pedal de velocidad baja/alta también actúa para desacoplar la presión del muelle de embrague (al igual que la palanca de freno de mano) cuando se mantiene en la posición "neutral". [6]

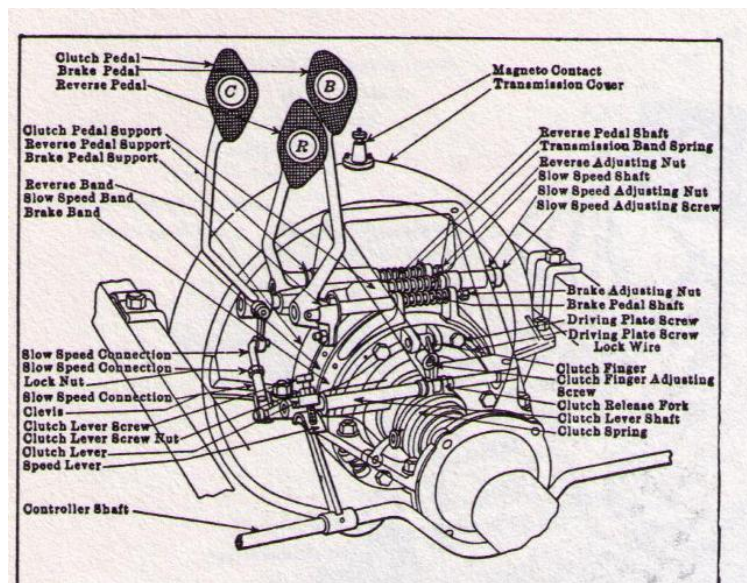


Ilustración 74. Imagen descriptiva de las conexiones exteriores de la transmisión [80]



## 6.2 Explicación del funcionamiento de la transmisión

Para entender correctamente el movimiento del sistema es determinante conocer estas reglas simples:

- Cada uno de los engranajes triples hace exactamente lo mismo que el otro.
- El engranaje conductor y, por lo tanto, el tambor de freno siempre actúan en sintonía a lo que el coche está haciendo, ya sea el coche parado, en marcha hacia delante o hacia atrás.
- El embrague sólo se utiliza en toma directa (alta velocidad).
- Los engranajes triples sólo se utilizan para conducir en marcha baja y marcha atrás.
- El tambor de baja velocidad y el de marcha atrás giran a menos que se pincen con las mordazas o bandas.

Con el motor en marcha y el coche todavía quieto ocurre lo siguiente:

El coche está parado, lo que significa que el plato conductor o Driving Plate está parado porque se fija permanentemente al eje de transmisión y el eje trasero. La razón por la que el motor puede seguir funcionando se debe a que el sistema sigue las siguientes premisas:

- Eje de transmisión, plato conductor, tambor de freno, discos hexagonales de embrague y el engranaje conductor son todos estacionarios. Esto es debido a que el engranaje conductor gira libremente en el eje de transmisión, ya que todos ellos están unidos entre sí.
- Volante de inercia, árbol de transmisión, tambor disco de embrague y los discos circulares de embrague giran todos, ya sea debido a la palanca del freno de emergencia o a que el conductor (a través del pedal de baja velocidad) presiona el muelle de embrague o Clutch Spring contra los discos, permitiendo que los grandes pasen a ser estacionarios y los pequeños comiencen a girar en sintonía con el tambor de disco de embrague.
- Todos los tambores pueden, y hasta cierto punto podrán, girar cuando el coche está en punto muerto, a menos que las bandas los presionen al tener un pedal accionado. [6]

En la siguiente animación, los engranajes que se adjuntan a los tambores se muestran sólo como un ejemplo del número de dientes de engranaje, la acción y la dirección de rotación cuando se selecciona una marcha.

## 6.2.1 Baja velocidad

Cuando el conductor desea arrancar y moverse hacia delante, el freno de emergencia se libera hasta la mitad, para permitir que las ruedas traseras giren, además de evitar que el muelle de embrague empuje los discos de freno.

El conductor aprieta y mantiene el pedal de marcha baja hasta el fondo, mientras modifica la velocidad del motor para compensar. Al apretar este pedal acciona la abrazadera que pinza el tambor de baja velocidad. Debido a que existe una diferencia entre los números de dientes entre el engranaje de baja velocidad y los engranajes triples, éstos últimos giran sobre su eje a una velocidad más lenta de la que lleva el volante de inercia, y a su vez, el engranaje conducido es forzado a girar en la misma dirección que el volante, y también a un ritmo más lento.

Es necesario recordar que el engranaje conducido se bloquea mediante una chaveta con el tambor de freno y, por lo tanto, éste tambor actúa de la misma manera que lo hace el engranaje, forzando al eje de la transmisión a girar a un ritmo más lento. [6]

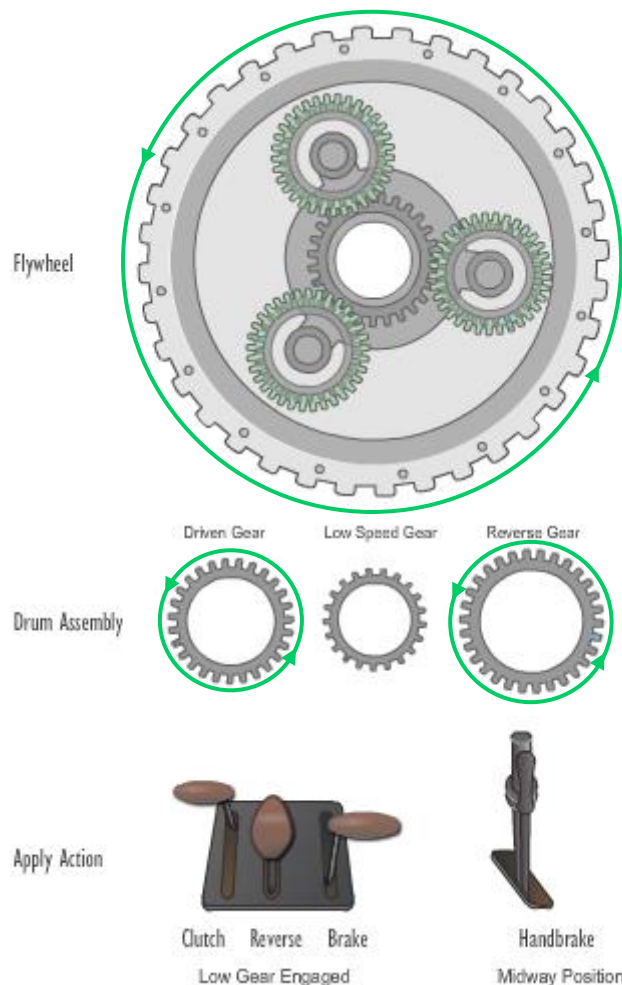


Ilustración 75. Movimiento de los engranajes y posición de los pedales a baja velocidad [6]

## 6.2.2 Alta velocidad

Cuando el conductor desea engranar una marcha larga (accionamiento directo), la palanca del freno de emergencia debe ser liberada completamente hacia adelante, mientras que el pedal de baja velocidad es, o bien presionado a la mitad, o totalmente presionado engranando el tambor de baja velocidad, de modo que ya no impide que el muelle del embrague comprima la discos de embrague.

A medida que la velocidad del coche aumenta, ya está preparado para cambiar a marcha alta. El conductor disminuye momentáneamente las revoluciones del motor y libera simultáneamente el pedal de marcha baja, eliminando también la presión, por lo tanto, del muelle del embrague. Esto permite que el muelle de embrague aplique la presión completa a los discos de embrague. Es importante recordar que los discos pequeños se fijan directamente al tambor de disco de embrague y, por tanto, al eje del volante y al propio volante, y por otro lado, los discos grandes están fijados al tambor de freno y, por tanto, al plato conductor. Por lo que la acción de comprimir los dos discos, proporciona un enlace directo de la siguiente manera:

El movimiento se transmite del volante a su eje, luego al tambor de disco de embrague, estos a los discos pequeños de embrague y posteriormente a los discos grandes de embrague. Finalmente éstos al tambor de freno, al plato conductor, y finalmente al eje de transmisión que va unido al eje trasero. [6]

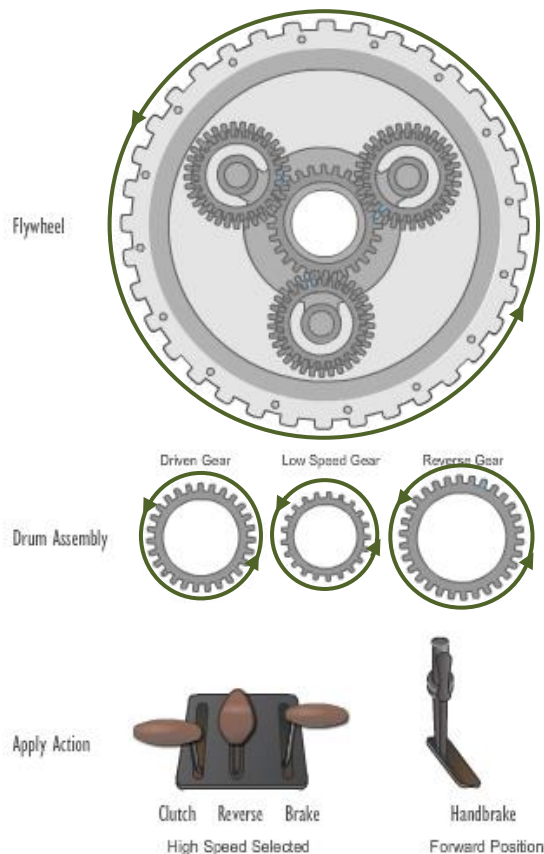


Ilustración 76. Movimiento de los engranajes y posición de los pedales a alta velocidad [6]



### 6.2.3 Marcha atrás

Cuando el conductor desea dar marcha atrás, el freno de emergencia debe ser liberado hasta la mitad, permitiendo que las ruedas traseras giren, y prevenir también que el muelle del embrague comprima los discos, como ocurría en la marcha baja.

El conductor presiona y mantiene el pedal de marcha atrás, mientras que va alterando la velocidad del motor hasta que se adapte. Esto acciona la abrazadera del tambor inverso y lo pinza, forzando a que la fuerza de accionamiento pase a través del engranaje triple correspondiente al engranaje del tambor inverso, hasta el engranaje conducido.

En este caso, debido a que la diferencia en los números de dientes es 30 en el tambor inverso y 24 en su correspondiente del engranaje triple, éste último tiende a girar más rápido. El engranaje conducido con su correspondiente del triple engranaje, también hará lo mismo, y será forzado a moverse en la dirección opuesta. [6]

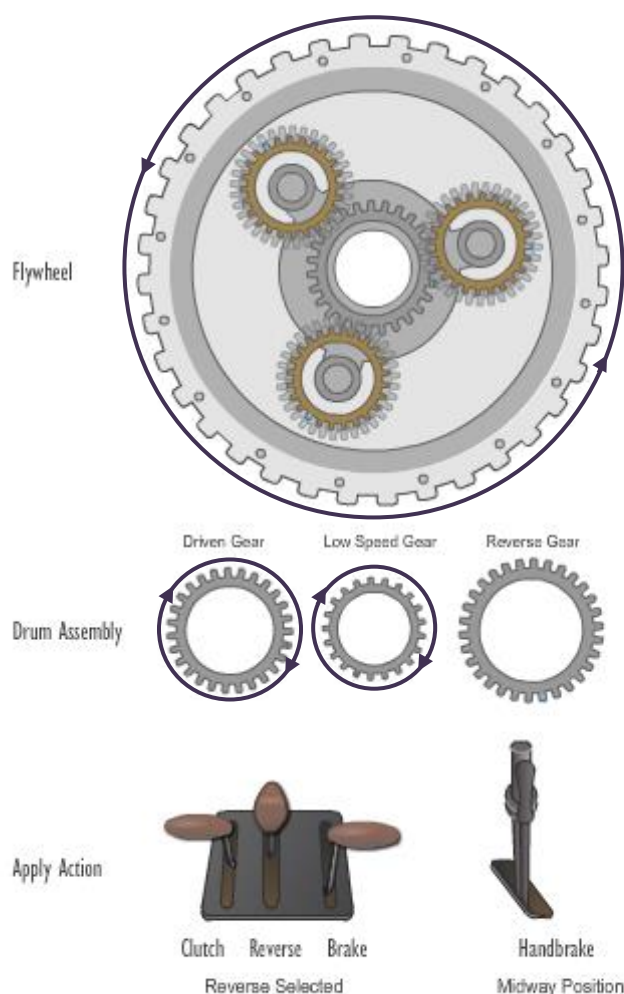


Ilustración 77. Movimiento de los engranajes y posición de los pedales a marcha atrás [6]

## 6.2.4 Accionamiento del freno

Cuando el conductor desea parar, obviamente sin que se cale el motor, o bien se debe actuar sobre la palanca del freno de emergencia o sobre el pedal de baja velocidad, esto es, colocar el freno de mano hacia atrás, o presionar el pedal hasta la mitad para soltar la presión del muelle de embrague de los discos de embrague y así liberar la conexión directa entre el motor y el eje trasero.

A continuación, y/o simultáneamente, presionar el pedal de freno. Esto acciona la abrazadera del tambor de freno, pinzándolo y, por tanto, debido a la conexión directa con el plato conductor, frenando el vehículo hasta pararlo.

El freno puede ser presionado para frenar el vehículo sin alterar la palanca del freno de mano, pero sólo hasta el momento previo a que el motor se cale. A los efectos de esta explicación, se va a desacoplar el embrague y presionar el freno.

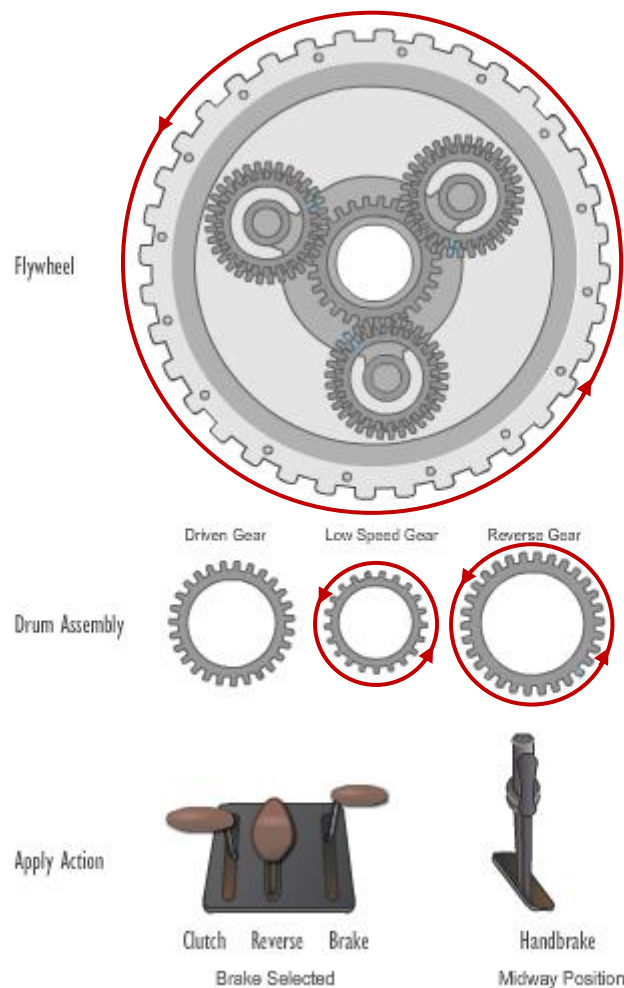


Ilustración 78. Movimiento de los engranajes y posición de los pedales al accionar el freno [6]



## 7 MODELADO DE LA TRANSMISIÓN DEL FORD T

---

La transmisión consta de varias partes más fragmentadas las cuales se han diseñado como un *PART* único, y posteriormente unido mediante el módulo *ASSEMBLY DESIGN*. Algunos datos, los más relevantes, son conocidos gracias a los manuales, al contrario que los datos más minúsculos, correspondientes a detalles geométricos, chaflanes o redondeos, que han sido obtenidos por proporción.

### 7.1 ELEMENTOS PRINCIPALES

#### 7.1.1 Flywheel

El dato de manual conocido es el número de dientes exterior, 120, que por proporción se ha supuesto un diámetro exterior de 330 mm, con 5.5 mm de longitud del diente por 4.5 mm de espesor de éste. Los tres ejes de los Triple Gear se encuentran a 73 mm del centro, con un diámetro obtenido por especificaciones de 17.27 mm, así como 50 mm de longitud del pivote.

Por la parte posterior se encuentran los imanes y la placa de imanes, además de un rebaje circular cuya finalidad es la unión en uno del Crankshaft, el Transmission Shaft y el Flywheel.

Para obtener este elemento se ha creado la rueda dentada en bruto con **Sketch** y **Pad**, para posteriormente realizar dos **Pocket** que hacen los tres niveles de la cara superior. Con el mismo procedimiento se consiguen los pivotes de los Triple Gear.

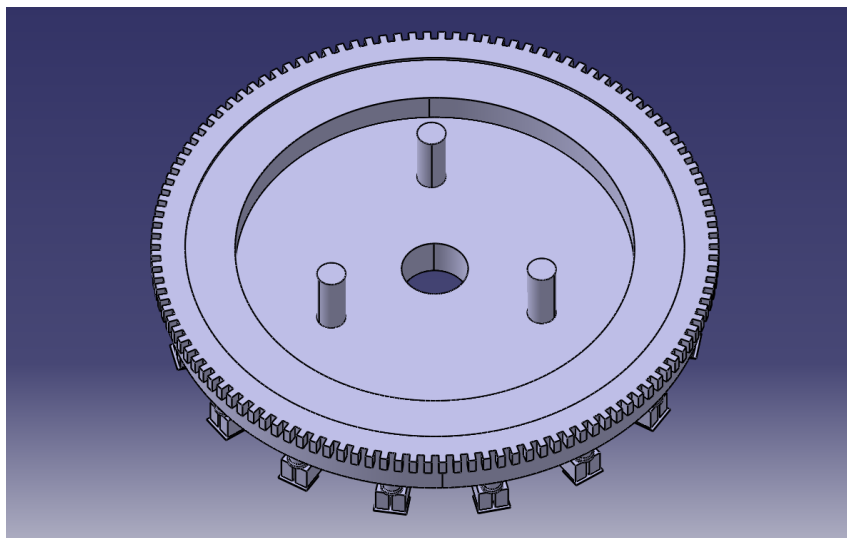


Ilustración 79. Modelo del volante de inercia (I): Vista anterior

En cuanto a la cara posterior en primer lugar se han realizado los soportes de los imanes, de forma cilíndrica, mediante **Sketch**, **Pad** y un **Circular Pattern** para repetir esto en 16 ocasiones. De la misma forma se ha procedido con los imanes, cuya forma de “A” ha sido continuamente rediseñada. De nuevo este sistema ha sido utilizado para la placa rectangular de imanes. Se puede decir que se ha realizado solo un conjunto imán-soporte-placa y se ha multiplicado con un **Circular Pattern**.

Finalmente el lugar donde se conectan CrankShaft, Transmission Shaft y Flywheel ha sido vaciado con **Pocket**, repitiendo operación para los 6 agujeros de unión.

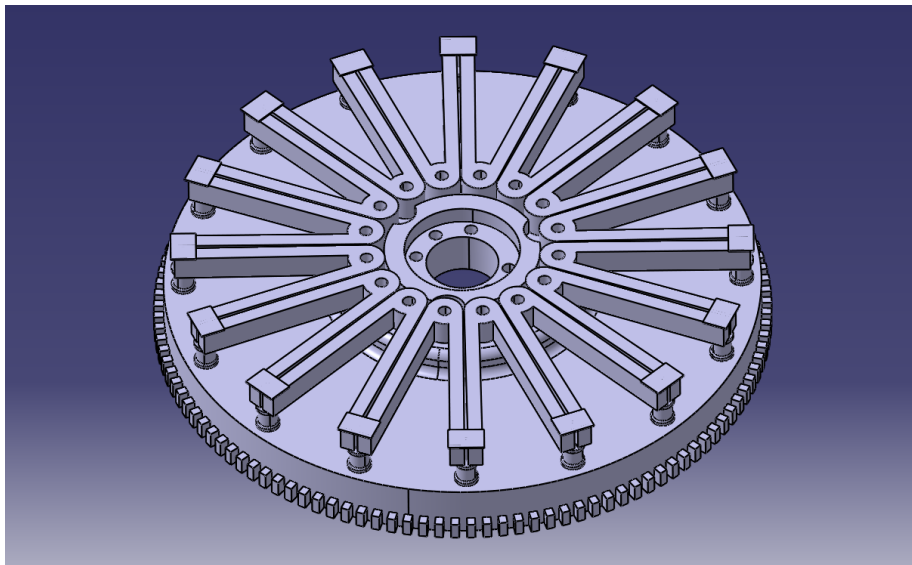


Ilustración 80. Modelo del volante de inercia (II): Vista posterior

### 7.1.2 Transmission Shaft

La geometría es muy sencilla, con 20 mm de diámetro para el eje, 200 mm de longitud, y con respecto al soporte, 64 mm de diámetro y 5 de espesor, con 6 agujeros de unión de 7 mm de diámetro dispuestos a una distancia de 52 mm del centro del soporte.

Dos **Sketch** con sus respectivos **Pad** y un **Pocket** para vaciar los 6 agujeros han bastado para la realización de este elemento. Finalmente se ha añadido un **Fillet** para hacer más suave la transición eje-soporte y un **Chamfer** para hacer menos afilado el extremo del eje.

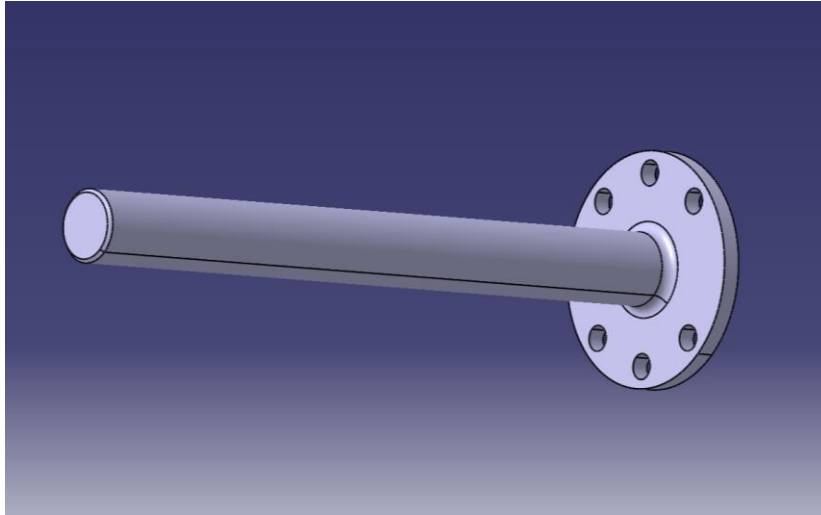


Ilustración 81. Modelo del eje del volante de inercia

### 7.1.3 Driven gear

Las especificaciones indican un número de dientes de 27, que con un pitch de 10 da como resultado un radio de la rueda dentada de 27 mm. La longitud del diente (5.5 mm) ha sido determinado por proporción con el resto de parámetros, ajustándose lo máximo posible a las representaciones reales. Así como un rebaje en el diente de 4 mm x 60 grados.

Mediante un **Sketch** y una posterior extrusión se ha creado el cilindro de la rueda dentada, para después en un nuevo **Pad** dar forma a uno de los dientes, multiplicándolo hasta el número requerido con la orden **Circular Pattern**. También se ha realizado un chavetero que entrará en juego con el elemento Brake Drum, el cual se verá más adelante, además de un pequeño chaflán mediante **Chamfer** y un redondeo con **Fillet** para suavizar las aristas vivas.

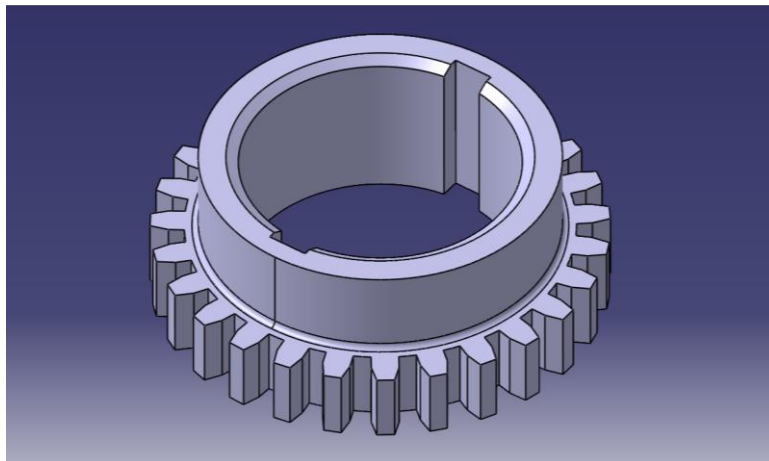


Ilustración 82. Modelo del engranaje conducido

### 7.1.4 Triple gear

Esta triple rueda dentada ha seguido las mismas pautas que en el anterior sólido. La rueda de mayor envergadura, Low triple gear, dispone de 33 dientes, por 24 de la Reverse triple gear y 27 dientes de la Driven triple gear. Como sabemos esta última ha de ir engranada con la primera pieza comentada.

Procediendo de la misma forma que en el ejemplo anterior pero por triplicado, obtenemos este sólido.

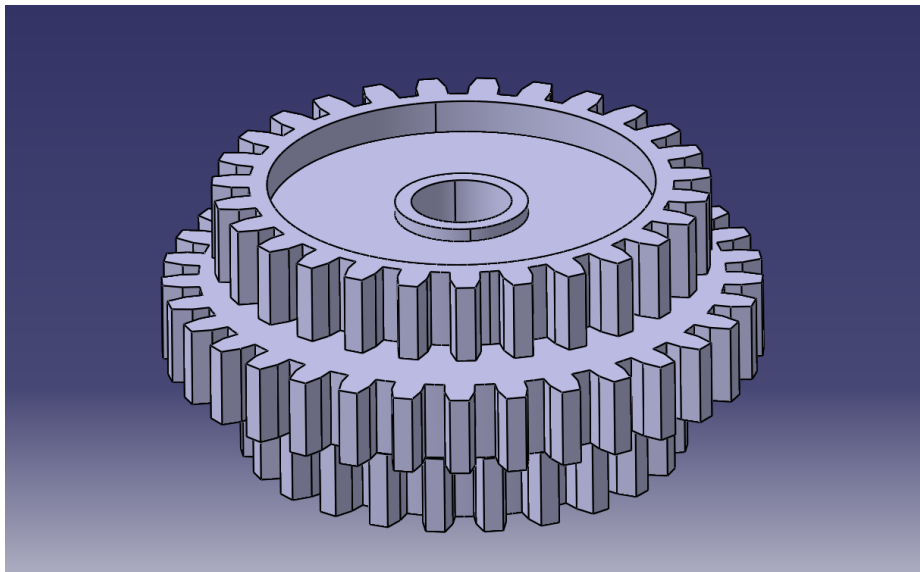


Ilustración 83. Modelo del engranaje triple

### 7.1.5 Reverse Drum

A pesar de que solo se contaba con varios datos sobre este elemento, como el diámetro exterior del tambor (190 mm), el número de dientes que es 30 y su radio que es de 30 mm, se supo obtener de una manera muy fiel el resto de datos, ya que los ya sabidos se trataban de los cruciales que influían más directamente al funcionamiento del conjunto.

Para la realización se usaron las órdenes **Sketch**, **Pad** y **Circular Pattern** para agujeros, **Pocket** para obtener la forma deseada del tambor y algún redondeo con **Fillet**.



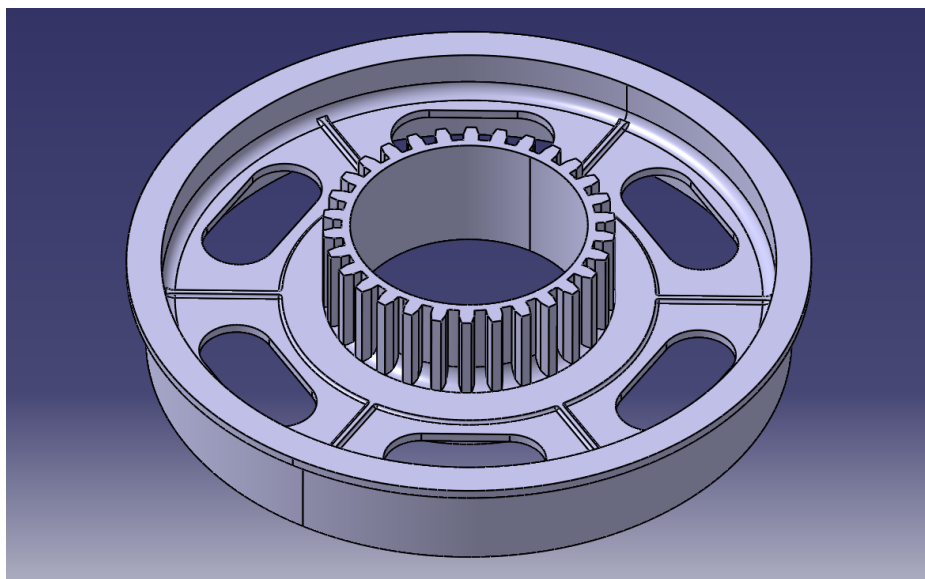


Ilustración 84. Modelo del tambor inverso

### 7.1.6 Low Speed Drum

Su geometría es similar a la del Reverse Drum, con la salvedad de que el número de dientes de la rueda dentada pasa a ser 21 mm, con la consiguiente disminución de radio con respecto al ejemplo anterior.

Los comandos usados y la forma de proceder son idénticos.

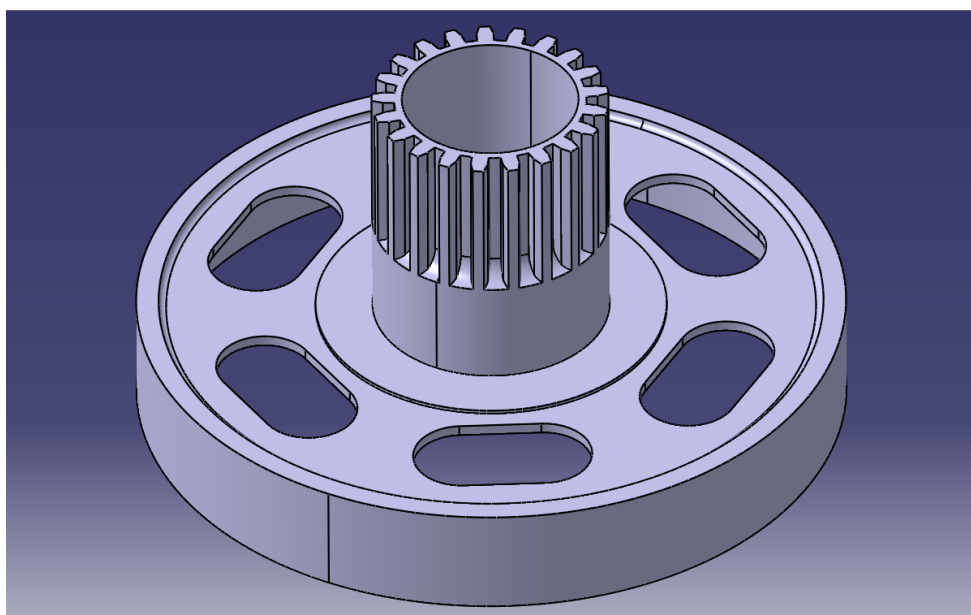


Ilustración 85. Modelo del tambor de baja velocidad

### 7.1.7 Brake Drum

Este sólido trajo un poco más de cabeza, debido a la complejidad de ciertas geometrías, las cuales no quedaban claras sus dimensiones o simplemente su utilidad. En esta ocasión se trata de un eje de 40 mm de diámetro externo, 33 mm de diámetro interno y 100 mm de longitud, en lugar de rueda dentada como aparecía en los demás tambores. El diámetro y profundidad del tambor es idéntico a los dos sólidos anteriores, pero la parte posterior requería de más trabajo ya que iba a servir como alojamiento para los “Clutch discs” que se comentará a continuación, y como elemento de unión para el “Driving plate” que también será estudiado a posteriori.

El proceso de modelado consistió en varios **Sketch**, **Pad** y **Pocket** para conformar la pieza en bruto, y después se le fue dando forma con algunos **Fillet** y **Chamfer**, así como **Circular Pattern** para los agujeros o los agarres que sobresalen por el tambor.

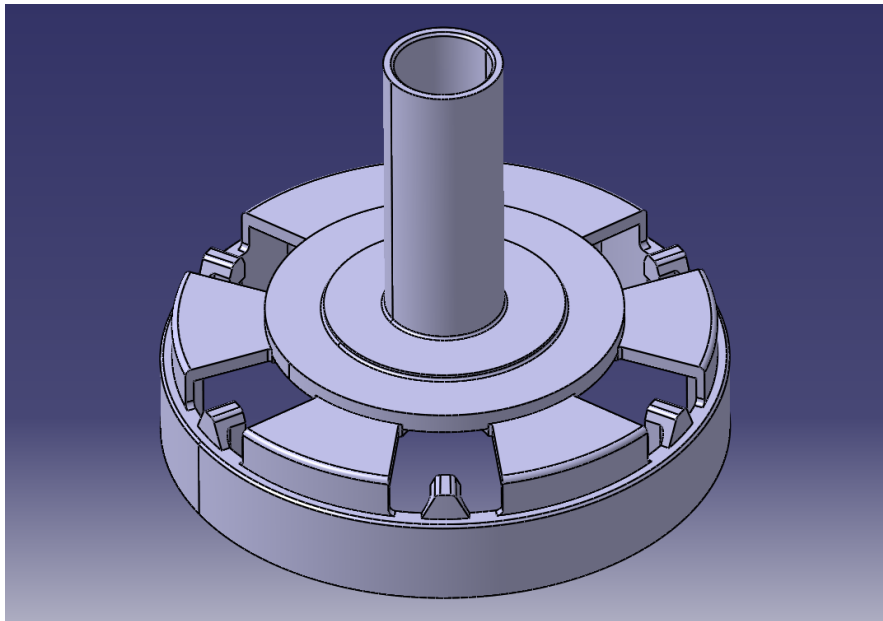


Ilustración 86. Modelo del tambor de freno (I): vista superior

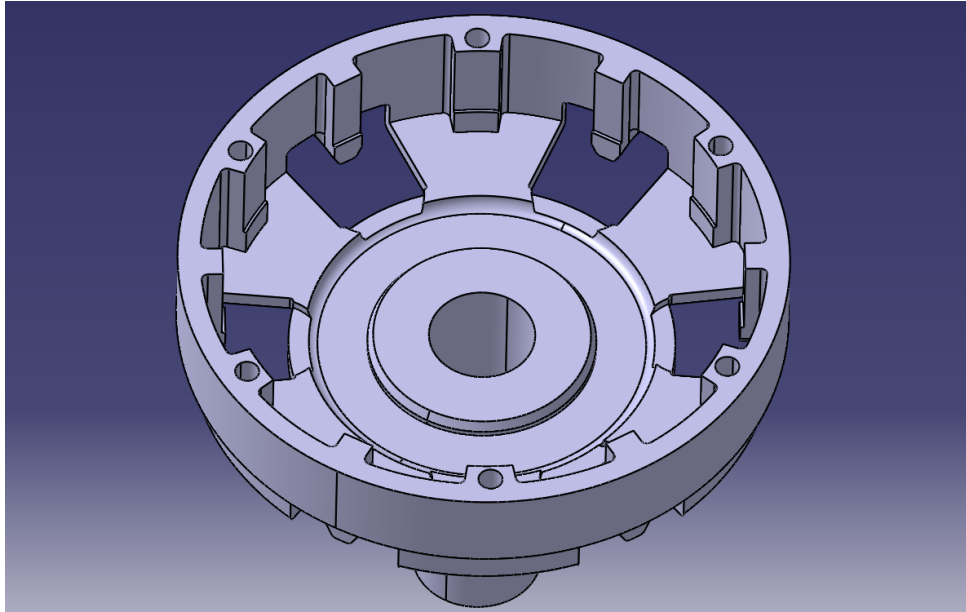


Ilustración 87. Modelo del tambor de freno (II): vista inferior

### 7.1.8 Disc Drum

Fue comentado anteriormente, y cuya única restricción geométrica era de poder apoyarse de manera perfectamente plana sobre la parte posterior del Brake Drum, así como tener las hendiduras de suficiente profundidad para que los dientes de los Clutch Discs entrarán y pudieran agarrarse a él de forma óptima. Para ello dotamos de un diámetro exterior de 108 mm y diámetro interior de 100 mm, con unas hendiduras de profundidad 4.7 mm por 5 mm de los dientes del Clutch Discs, por lo que entra casi en su totalidad, dejando 0.3 mm de espacio entre ambos elementos para el paso del aceite y lubricante.

Como si de los anteriores tambores se tratase, se procede de manera idéntica, mediante **Sketch**, **Pad** y **Pocket**, para obtener la forma deseada y posteriormente un **Circular Pattern** para completar el número de hendiduras, huecos y agujeros laterales en toda el área.

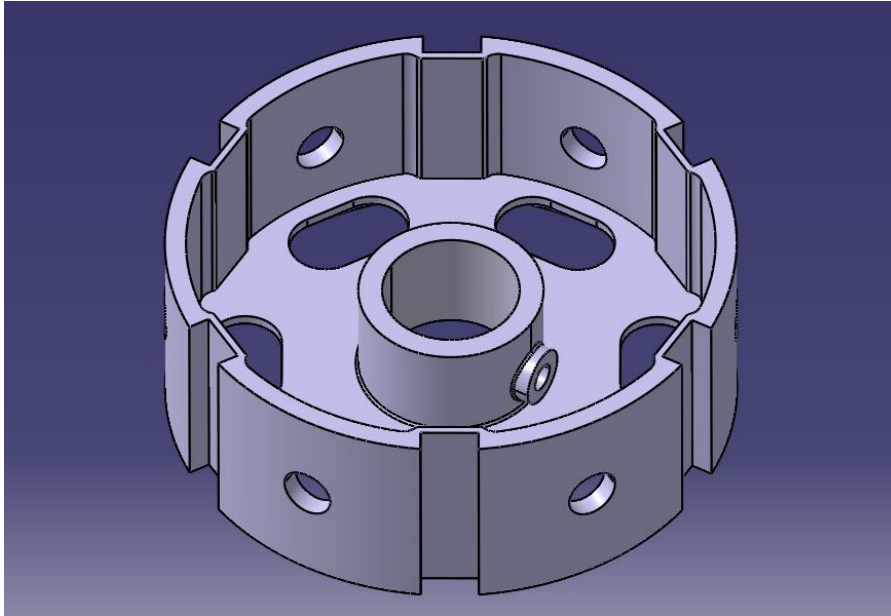


Ilustración 88. Modelo del tambor de disco de embrague

### 7.1.9 Clutch Discs I: Small Disc

Su geometría es muy sencilla y solo consta de un **Sketch** de una circunferencia de radio exterior 155 mm y radio interior 120 mm, el cual se hace protusión de tan solo 1 mm para crear la forma general y posteriormente mediante un nuevo dibujo le añadimos los salientes, multiplicando con la orden **Circular Pattern**.

Cabe decir que estas medidas no son estrictas, ya que ese dato no era conocido, pero gracias a las proporciones de la parte posterior del Brake Drum y del Disc Drum (el cuál se comentará luego), se pudo modelar de forma fiable.

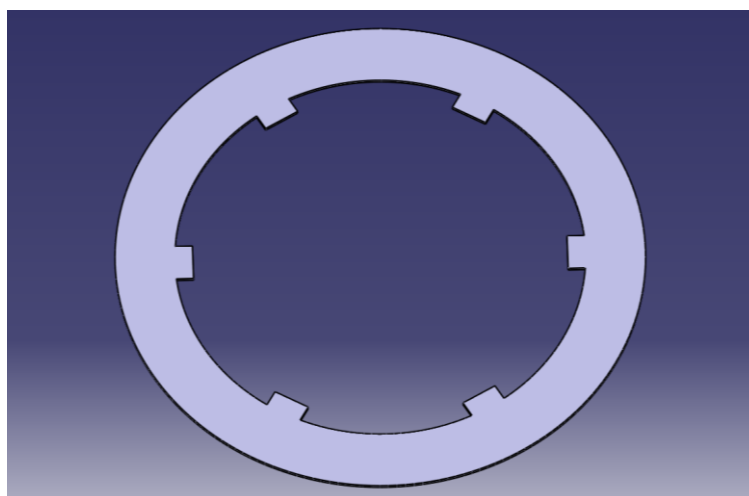


Ilustración 89. Modelo del disco de embrague pequeño

### 7.1.10 Clutch Discs II: Large Dics

Como su propio nombre indica, estos discos son más grandes que los anteriores, puesto que van ajustados a una superficie de mayor diámetro. Dicho esto, lo que es idéntico es la sencillez de su geometría y la facilidad de modelado. Un hexágono de lado 66 mm con muescas de 17,672 mm de longitud y 6.771 mm de ancho. El diámetro exterior que circunscribe al hexágono es de 170 mm, mientras que el diámetro interior es de 125 mm.

En primer lugar se ha ejecutado el comando **Sketch** para dibujar un hexágono con la circunferencia interior, luego un **Pad** le ha dado un espesor de 1 mm, y finalmente mediante **Sketch** se ha creado la muesca, que con **Pocket** se eliminaría el material y con **Circular Pattern** se ha copiado en seis ocasiones, una por cada vértice.

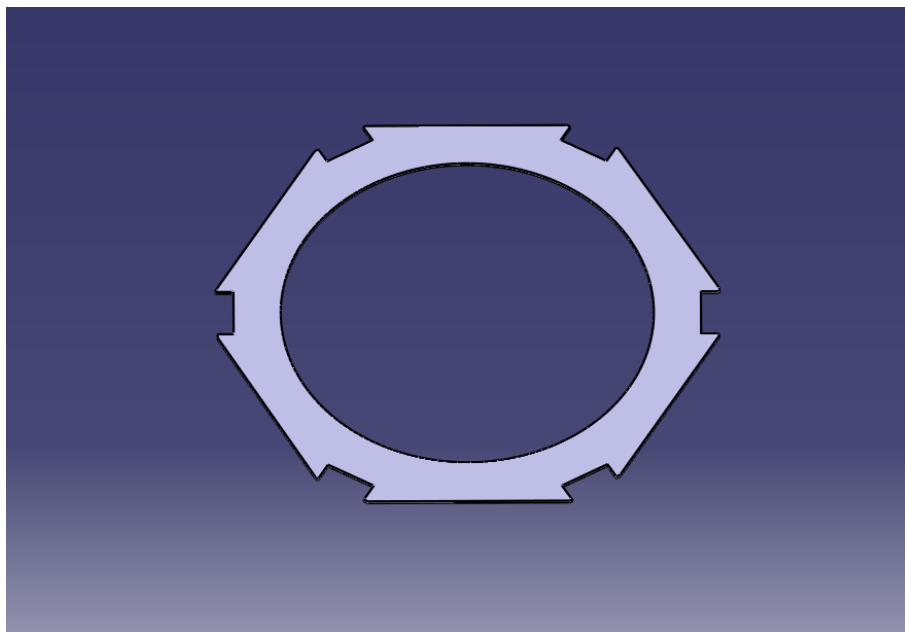


Ilustración 90. Modelo del plato conductor

### 7.1.11 Driving Plate

De este elemento solo se disponía el diámetro exterior de 190 mm y la restricción de que los agujeros debían conectarse con los análogos de la parte posterior del Brake Drum, cuyos centros se situaban en una circunferencia de diámetro 172 mm. El eje que se encuentra en este sólido ha sido dotado de un diámetro de 33 mm y una longitud de 100 mm.

La manera de procesar ha sido, a diferencia de los tambores, los cuales realizábamos extrusiones y luego vaciábamos, mediante un **Sketch** en el plano

vertical y posteriormente una extrusión de revolución **Shaft**, obteniendo la silueta deseada. Los tres huecos centrales han sido realizados mediante **Sketch** y **Pocket**, en cambio los agujeros exteriores de diámetro 7.843 mm mediante **Hole** y un avellanado cilíndrico de altura 2 mm, eso sí ambos reproducidos con la orden **Circular Pattern**. Por últimos se han usado las órdenes **Fillet** para redondear y **Tritangent** para darle forma a los soportes.

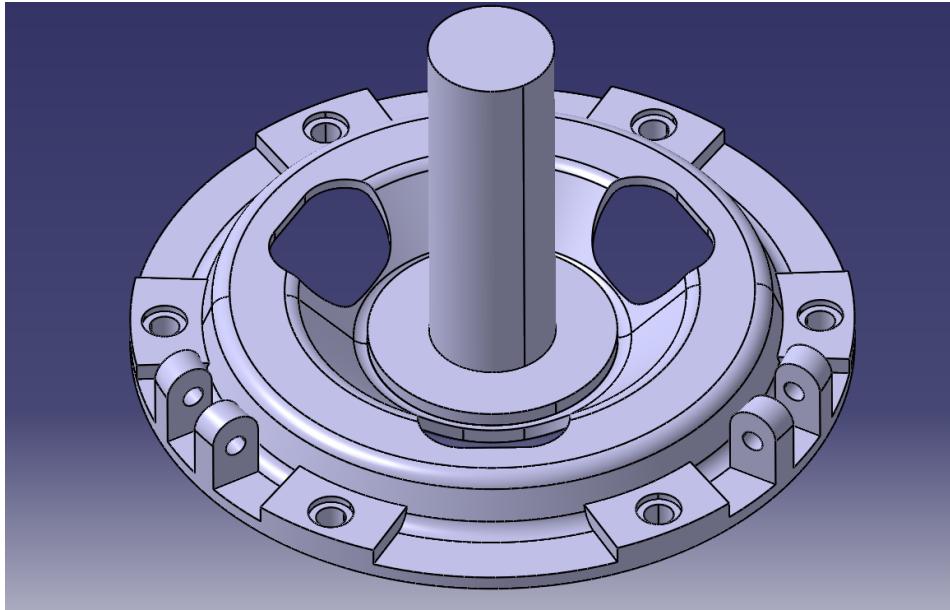


Ilustración 91. Modelo del plato conductor

### 7.1.12 Driving Plate Arm

El plato conductor expuesto anteriormente posee tres brazos, localizados a  $60^\circ$  entre cada una de los dobles elementos de fijación y unidos a ellos por un cilindro que entra en ambos agujeros. Se partía de la idea de que este componente debía tener unos 80 mm ya que debía ir desde el lugar mencionado antes, donde pivota, hasta la base del eje, pero sin tocar con él. La forma ha sido imitada a vista de imágenes reales, manteniendo las proporciones y con el diámetro el cilindro de 6 mm, que es el mismo valor que el diámetro de los agujeros de las sujeciones.

Mediante un **Sketch** en el plano vertical con la silueta y posterior **Pad** se ha creado la pieza, posteriormente el cilindro de pivote y finalmente con **Fillet** se ha curvado toda arista para dar una sensación más atractiva y más fiel a la realidad.

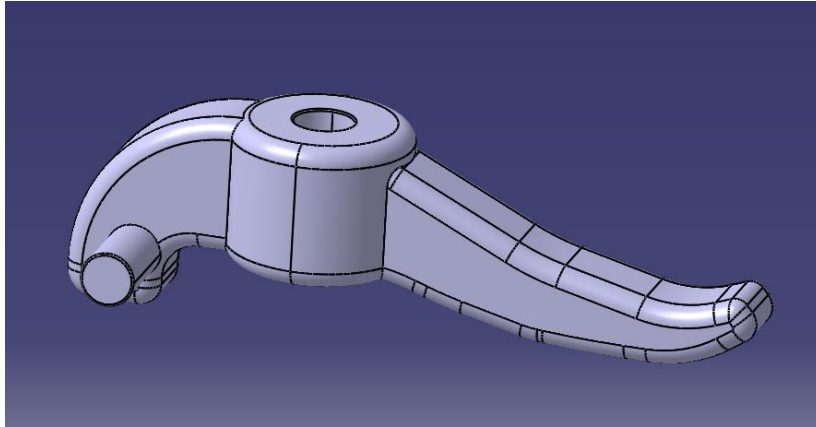


Ilustración 92. Modelo del brazo del plato conductor

### 7.1.13 Clutch Push Ring

Este elemento de sujeción de los discos de embrague ha sido modelado de manera aproximada, siguiendo la idea de que su diámetro exterior e interior debe encontrarse en contacto con la cara del disco de embrague, además de que sus tres pines fueran suficientemente largos como para sobresalir por sus correspondientes agujeros en el plato conductor.

Mediante un **Sketch** se ha realizado la silueta de la pieza, y mediante **Shaft** se ha revolucionado. Con un nuevo **Sketch** y gracias a **Pad** se han creado los tres pines, mientras que con **Chamfer** se ha rebajado el borde exterior.

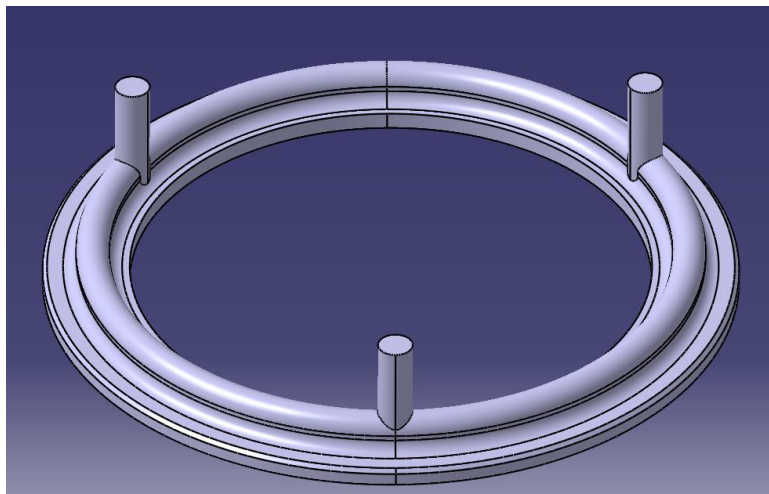


Ilustración 93. Modelo del anillo de embrague



### 7.1.14 Clutch Shift

Debido a la falta de datos con respecto a este elemento, se decidió seguir las proporciones de imágenes reales, manteniendo que el disco inferior sea más pequeño que el intermedio, y este a su vez que el superior. La altura total de la pieza es de 25 mm, con 33.2 mm de diámetro interior, y 38.175 mm de diámetro exterior. El disco inferior posee 52 mm de diámetro exterior, 58 mm el intermedio y 64 mm el superior.

Para ello, al ser una geometría de revolución, mediante un **Sketch** y luego con la orden **Shaft**, se ha creado la pieza completa, rebajando algún borde con **Chamfer**.

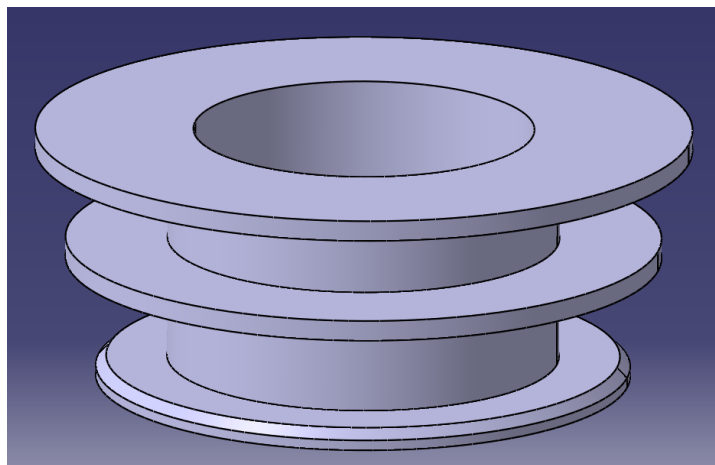


Ilustración 94. Modelo del collar de desplazamiento

### 7.1.15 Clutch Spring

Las dimensiones de las que se ha dotado al muelle del embrague son de 34 mm de altura total, y 40 mm de ancho nominal. Cabe destacar que la pieza real tiene la sección de la espira de forma rectangular, pero se decidió crearla con forma circular, ya que no daba algunos problemas que si daba la sección rectangular, además de que, técnicamente, cumplirían de igual manera la función para la que están diseñados.

Como ya se operara en el muelle de las válvulas, mediante el módulo *WIREFRAME & SURFACE DESIGN* se creó la trayectoria de la hélice, dándole la forma a la espira con la orden **Rib** del *PART DESIGN*.

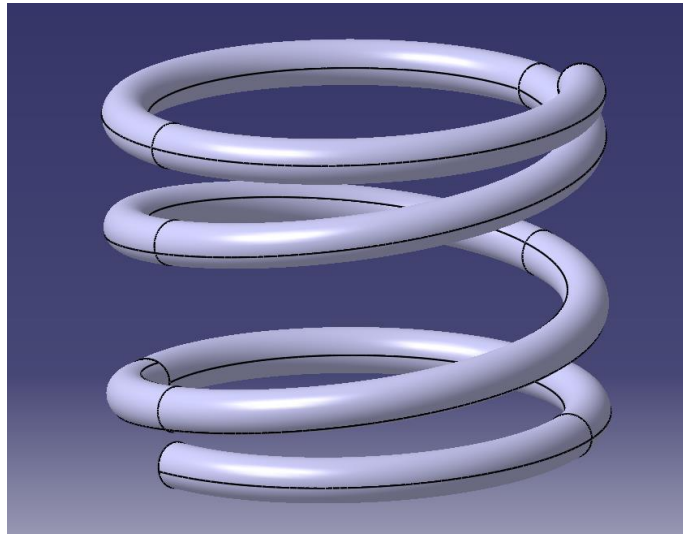


Ilustración 95. Modelo del muelle de embrague

### 7.1.16 Clutch Spring Support

Este elemento se ha creado con semejanza a la realidad, sin llegar a entrar en detalles dimensionales debido a que no es un elemento crucial para el funcionamiento del sistema. El diámetro interior tiene un valor de 33.6 mm mientras que el exterior es de 36 mm. Su altura total alcanza los 20.5 mm.

Su modelado ha sido muy sencillo, creando la forma bruta mediante **Sketch**, y girando la silueta con la orden **Shaft**. Finalmente mediante **Pocket** se han realizado los dos agujeros que unen esta pieza al eje del plato conductor.

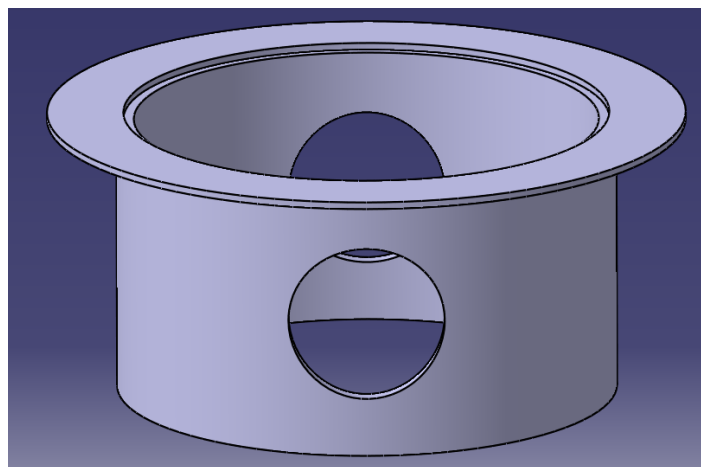


Ilustración 96. Modelo del soporte del muelle de embrague

## 7.2 ELEMENTOS MENORES

Este apartado se diferencia del anterior por ser una recopilación de aquellas piezas modeladas que tienen una geometría pequeña o que su importancia en el funcionamiento del sistema no es vital. Obviamente el diseño de éstas ha sido mucho más sencillo que las piezas comentadas anteriormente.

### 7.2.1 Key Driven Gear-Brake Drum

Respecto a su geometría no se contaba con sus dimensiones exactas, pero por los alojos en el Brake Drum y en el Driven Gear se podía intuir una aproximación de estos valores, 27 mm de longitud, 6 mm de alto y 7 mm de grosor han sido las decisiones finales.

Para su creación se ha partido de un **Sketch** simple con la forma deseada, posteriormente un **Pad** con el ancho elegido y finalmente con el comando **Fillet** se ha tratado de redondear todos los bordes para que no quedaran afilados.

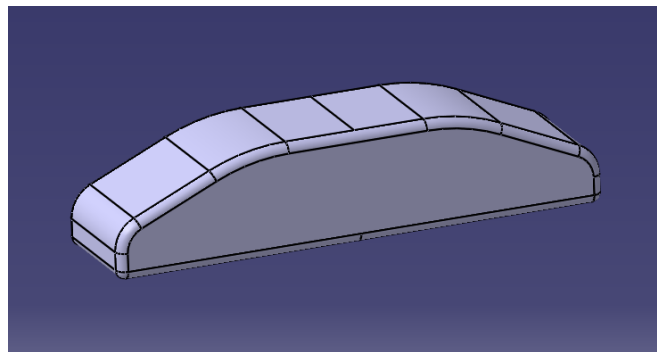


Ilustración 97. Modelo de la chaveta de unión tambor de freno-engranaje conducido

### 7.2.2 Bushings

Cada uno de estos elementos son cojinetes que se colocaban para facilitar la rotación relativa entre dos superficies de dos componentes. Debido a que este sistema estaba continuamente girando, no era idóneo colocar las piezas directamente una sobre otra ya que, primero se perdería mucha potencia en fricción y, segundo, se desgastarían muy rápido por lo que habría que cambiarlas continuamente. Para ello se utilizaban como intermediario.

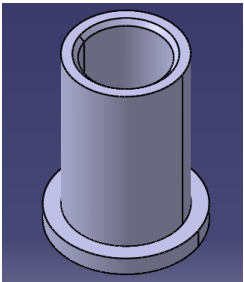
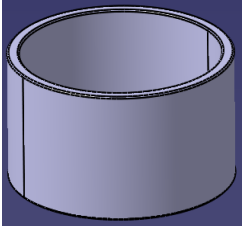
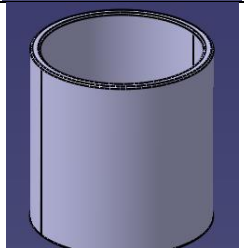
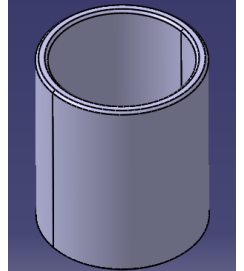
Nombre	Descripción	Dimensiones	Imagen
Triple Gear bushing	Se coloca entre cada engranaje triple y los pivotes del volante de inercia. El saliente inferior sirve para que la rueda no roce al girar con el Flywheel.	Altura total: 39.81 mm Espesor: 6.13mm Espesor/altura saliente: 6.6 mm/3.81 mm	
Reverse Drum bushing	Su posición se encuentra entre la superficie interior del Reverse Drum y la superficie exterior del eje del Low Drum.	Altura: 39 mm Espesor: 7.5 mm	
Low Speed Drum bushing	Se sitúa entre la superficie interior al eje del Low Drum y el eje de transmisión del volante de inercia.	Altura: 50 mm Espesor: 5 mm	
Driving plate bushing	Trabaja entre el propio Driving Plate y el eje de transmisión del Flywheel.	Altura: 35 mm Espesor: 4 mm	

Ilustración 98. Tabla de los diferentes cojinetes repartidos por el sistema

La manera de proceder ha sido muy mecánica y sencilla, un **Sketch** con una doble circunferencia dibujada, con diámetros idénticos a las superficies que se quiere evitar su desgaste, con **Pad** elevamos los trazos con la altura especificada y por ultimo con la orden **Chamfer** se han rebajado los bordes.

En el caso del primer cojinete del triple engranaje, a este proceso anterior se le añade un nuevo **Sketch** y **Pad** para dar forma al saliente.

## 7.2.3 Transmission Screws

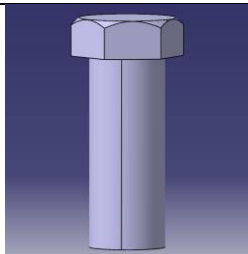
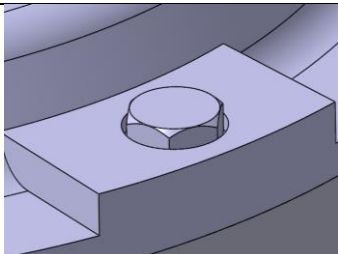
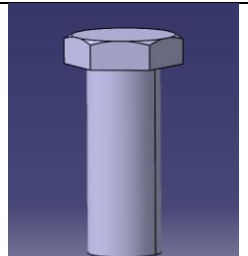
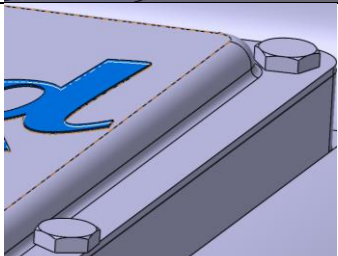
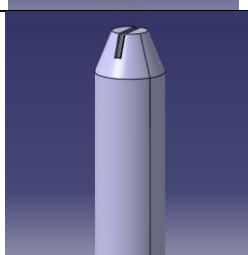
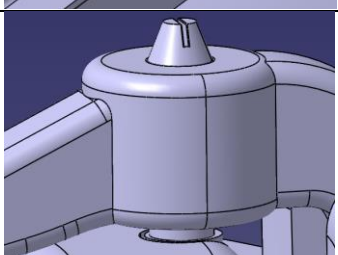
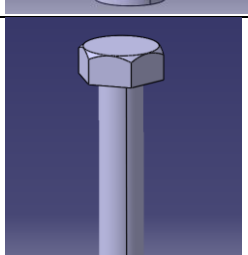
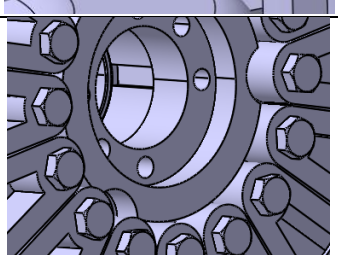
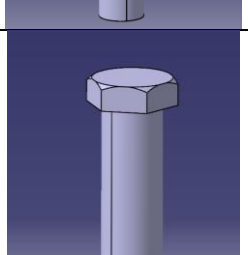
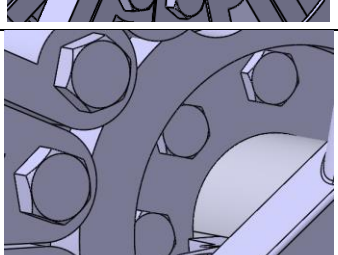
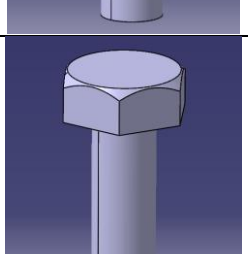
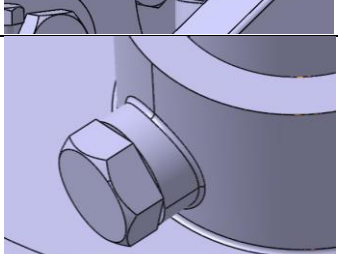
Unidad	Dimensiones	Tornillo individual	Tornillo instalado
Driving Plate Screw	Longitud total: 20 mm  Diámetro nominal: 7.9mm		
Transmission Door Screw	Longitud total: 13 mm  Diámetro nominal: 5 mm		
Adjusting Screw	Longitud total: 18 mm  Diámetro nominal: 6.7 mm		
Flywheel Screw	Longitud total: 32 mm  Diámetro nominal: 6.975 mm		
Crankshaft-Flywheel Screw	Longitud total: 20 mm  Diámetro nominal: 7 mm		
Disc Drum Screw	Longitud total: 15 mm  Diámetro nominal: 5.6 mm		

Ilustración 99. Tabla de los diferentes tornillos repartidos por el sistema

## 7.3 ELEMENTOS AJENOS

### 7.3.1 Magneto Coil

La bobina del magneto no es un elemento como tal de la transmisión ni del motor, se podría clasificar como componentes eléctricos del vehículo, pero al haber sido modelado por encontrarse entre ambas partes se ha decidido puntualizar a la hora de clasificarla.

Teniendo como referencia que las bobinas del magneto deben coincidir con las placas de imanes de la parte posterior del Flywheel, que su diámetro exterior debe ser también similar al del volante, y obviamente, conociendo el número de bobinas, se pudo hacer una buena representación, puesto que éstos eran los ingredientes más importantes en el correcto funcionamiento del sistema.

El modelado ha consistido en un primer **Sketch** con la forma de la lámina base que sujetan las bobinas de 330 mm de diámetro, idénticos a los del volante. Mediante **Pad** se le daba un espesor de 2 mm y posteriormente con un nuevo **Sketch** y **Pad** se creaban los soportes de las bobinas con forma oval, de 27.189 mm de longitud total, 11.8 mm de anchura y 8 mm de grosor. Mediante **Pocket** se vaciaba uno de los agujeros, tanto grandes como pequeños, y con dos **Circular Pattern** se multiplicaba en 16 ocasiones uno y en 4 el otro. Mediante **Tritangent** se ha redondeado el anillo central. Por ultimo las bobinas, fueron creadas de misma manera que los soportes, pero con mayor envergadura, 28 mm de ancho, 52 de largo y 6 de grosor.

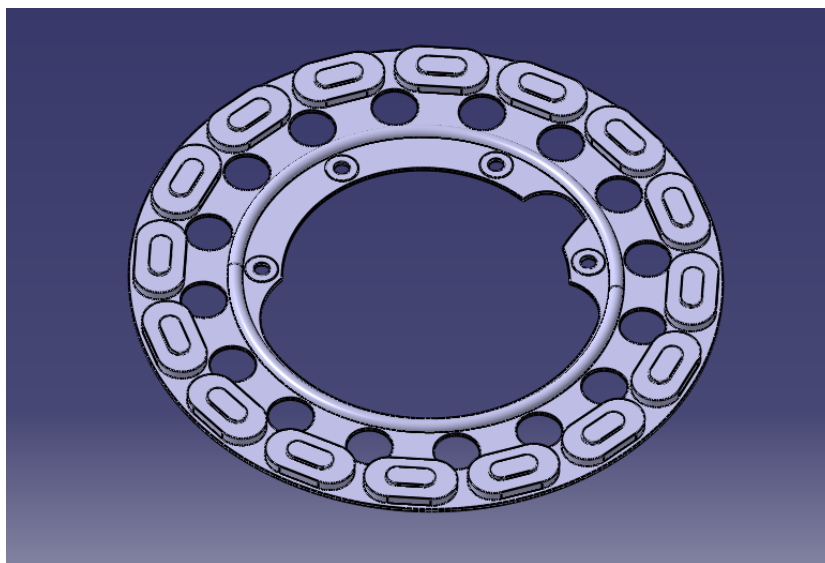


Ilustración 100. Modelo de las bobinas del magneto

### 7.3.2 Transmission Door

Para el modelado de la cubierta de la transmisión es necesario dividir la explicación en dos, para comprender de manera más intuitiva el proceso que se ha seguido hasta llegar al resultado final de la pieza.

Como primer punto, la cubierta en sí es un elemento de muy fácil modelado, debido a su geometría. Las dimensiones generales de largo, ancho y de profundidad son orientativas, puesto que no es una parte crucial para el correcto funcionamiento del sistema, y que se ha fijado en 170 mm de largo, 121 mm de ancho superior y 65.5 mm de ancho inferior, todo ello con unos marcos de 8 mm y una profundidad de 2 mm. Los seis agujeros que la fijan al bloque son de 5.6 mm.

Esta operación mediante Sketch y Pad se ha podido realizar la pieza en bruto, para posteriormente, con Pocket crear los agujeros y con Fillet dar curva a las aristas afiladas.

La segunda parte de este componente se trata de la implementación de las letras “Ford” y “MADE IN USA” en relieve. Para ello se ha recurrido al módulo *DRAFTING*, con el cuál se consiguen crear representaciones 2D o “drawings”. Si se guarda en el formato .dxf se permite posteriormente exportar al módulo Part Design para sobrescribirlo en la cubierta, como se ha operado. Finalmente con **Pad** y seleccionando las letras se eleva una cantidad de 2 mm, para darle relieve y se resalte más el resultado.

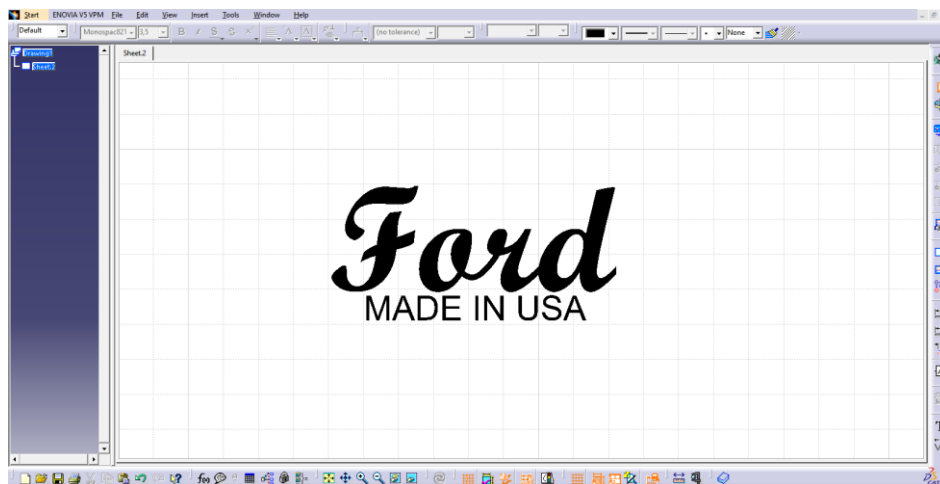


Ilustración 101. Drawing con la inscripción de Ford

La fuente de letra usada para ello es Script MT Bold a tamaño 30, la cual no es exactamente la tipografía de la marca de coches americana, ya que esta posee copyright, pero su gran similitud dota de personalidad y autenticidad al modelo.



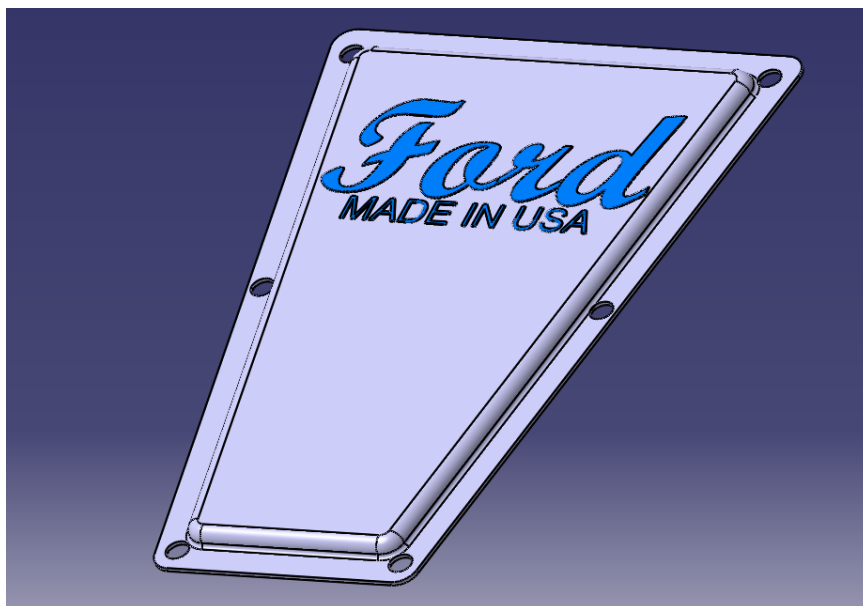


Ilustración 102. Modelo de la cubierta de la transmisión



## 8 ENSAMBLADO

A continuación, y con todas las piezas necesarias modeladas, es necesario unir las en una sola creando el conjunto completo que significará el resultado final. Para ello, se ha recurrido al módulo de ensamblado de CATIA que se accede mediante: **MECHANICAL DESIGN → ASSEMBLY DESIGN**, o lo que es lo mismo crear un Part general, aquí denominado Product que en englobe todos los elementos.

Respecto a su uso, hay que destacar que es muy intuitivo, y con solo algunos botones se podrán crear conjuntos de gran dificultad y visualmente atractivos, siempre teniendo claras las restricciones a imponer en el sistema, así como que encaje a la perfección, como si de un puzle se tratase. Todo lo que no sea lo anterior, significaría rehacer o modificar los Part individuales.

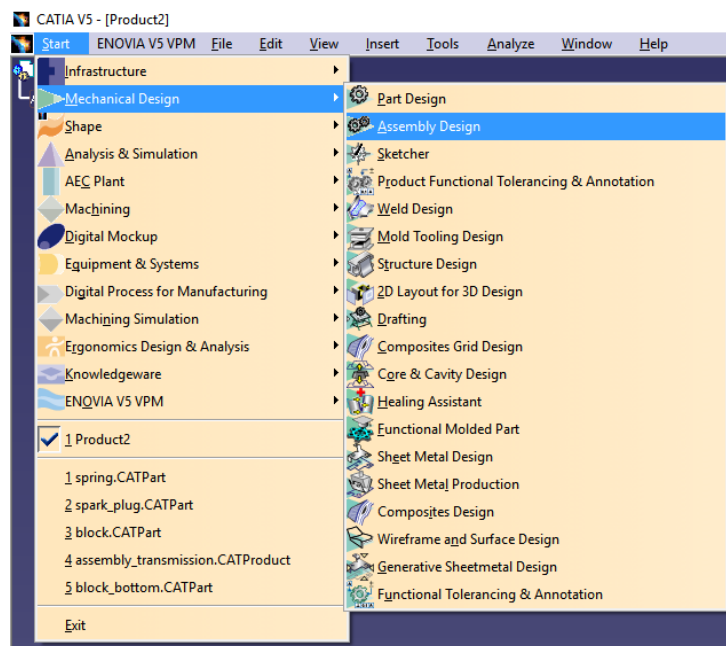


Ilustración 103. Módulos de la herramienta *Mechanical Design* de CATIA

La metodología a seguir es muy sencilla, en primer lugar es necesario añadir piezas a la zona de trabajo para operar con ellas. Para esto, es posible emplear dos maneras: en primer lugar hacer Click sobre la pestaña **Product** del árbol de operaciones, posteriormente en Components y seleccionar **Existing Component**.

Como segunda vía, es posible pulsar sobre el icono de **Existing Component** que se encuentra de forma predeterminada en el lateral y posteriormente pulsar en la pestaña **Product** del árbol de operaciones.

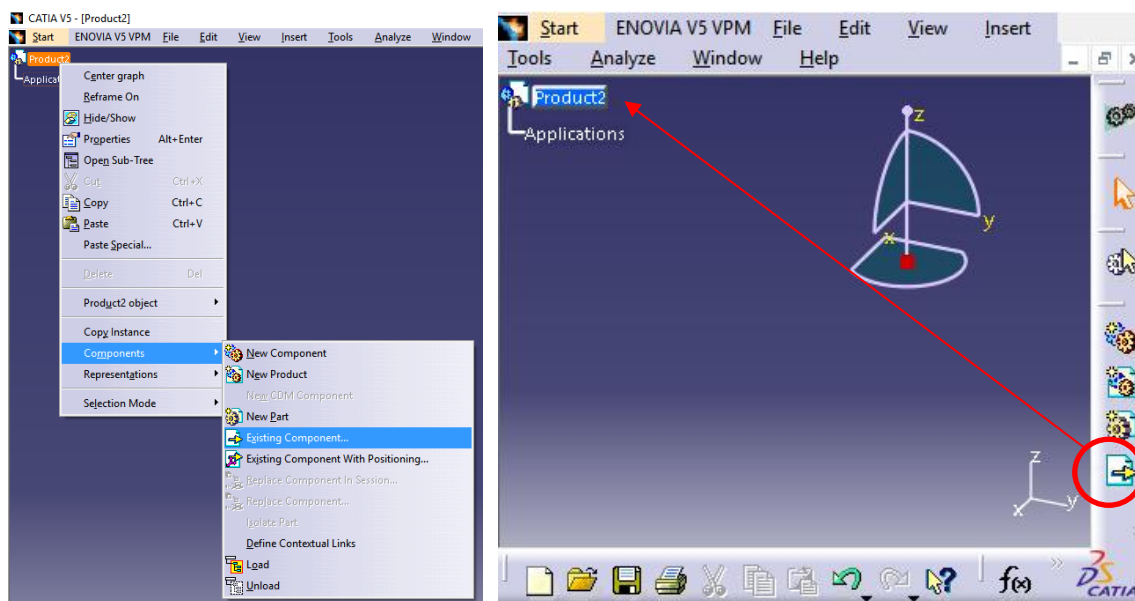


Ilustración 104. Opciones para añadir piezas al módulo Assembly

Para el ensamblado del conjunto ha sido necesario imponer todas las restricciones comentadas anteriormente, y su ejecución dependía de la habilidad de uso de los siguientes sub-módulos:

## CONSTRAINTS

**1. Coincidence Constraint:** Herramienta muy importante ya que es un conjunto con muchos taladros y piezas como engranajes que hacían que se estuviera constantemente recurriendo a este módulo. Sirve para hacer coincidir dos ejes, ya sea eje pieza-pieza, eje pieza-taladro, etc...

**2. Contact Constraint:** De nuevo su uso ha sido abundante, ya que, como es obvio, todas las piezas deben ir perfectamente unidas unas a otras por alguna de sus caras o por algún elemento de unión. Como se ha descrito, se usa para poner en contacto dos elementos.

**3. Offset Constraint:** Menos usado que las anteriores pero de gran utilidad. No siempre es necesario que dos piezas estén completamente unidas, sino que conviene que queden holgadas en un cierto valor, para ello se utiliza esta herramienta, que dista dos elementos la distancia que se solicite. Ejemplo: los engranajes triples se encuentran a una distancia determinada del volante de inercia, no en contacto para evitar roces.



Ilustración 105. Barra de Constraints del módulo Assembly

**4. Angle Constraint:** Muy poco usado, para ajustar ciertas piezas con mayor exactitud con restricciones de tipo perpendicularidad. Se usa para dar cierto ángulo entre los ejes o caras de dos piezas.

**5. Reuse Pattern:** Su uso también ha sido intenso, debido a la gran cantidad de piezas repetidas que se encuentran en el conjunto, como pistones, bielas, rodamientos, tornillos, muelles, etc...

## MOVE

**Manipulation:** Es utilizado para mover en cualquier dirección espacial a la pieza y girarla con respecto a cualquier eje, esto hace que se pueda tener control total sobre el sólido. Se ha recurrido mucho a esta herramienta para posicionar correctamente el Part antes de añadirle las restricciones.



Ilustración 106.  
Barra de Move del  
módulo Assembly

## ENSAMBLADO FINAL

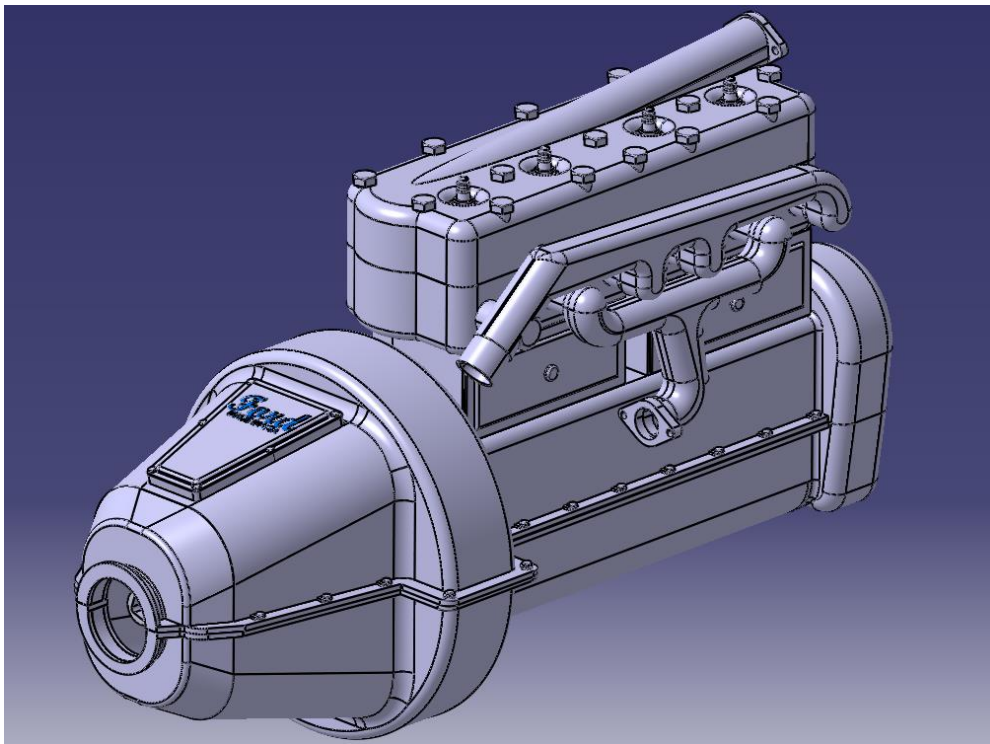


Ilustración 107. Opciones para añadir piezas al módulo Assembly

## ENSAMBLADO INTERIOR DEL MOTOR

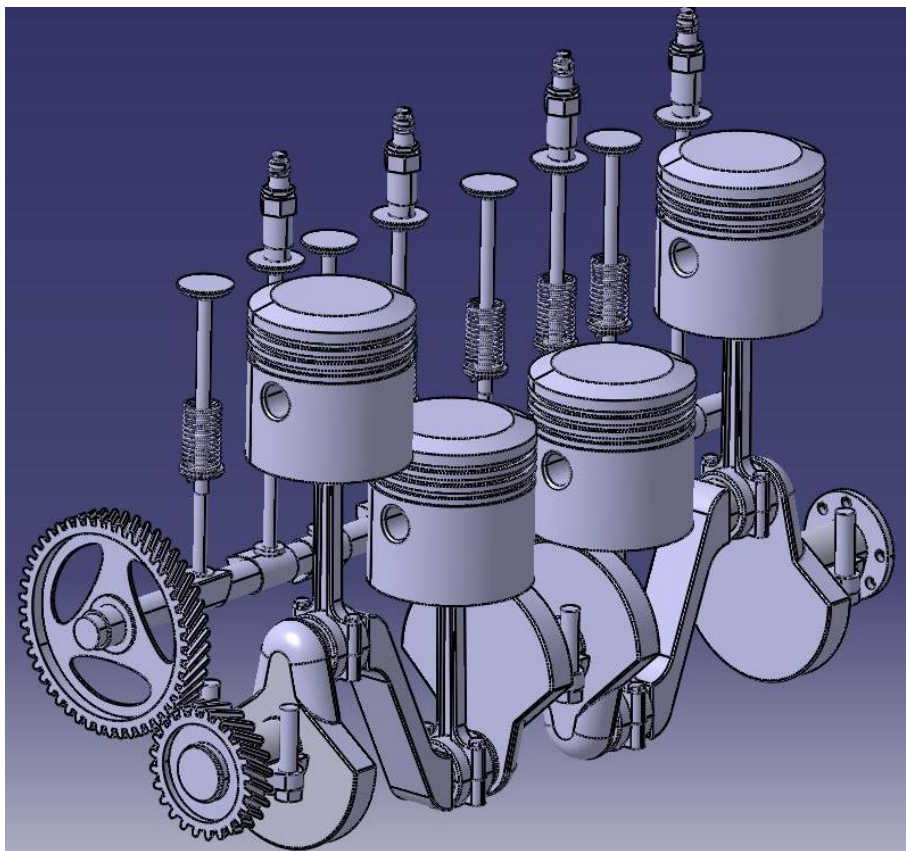


Ilustración 108. Opciones para añadir piezas al módulo Assembly

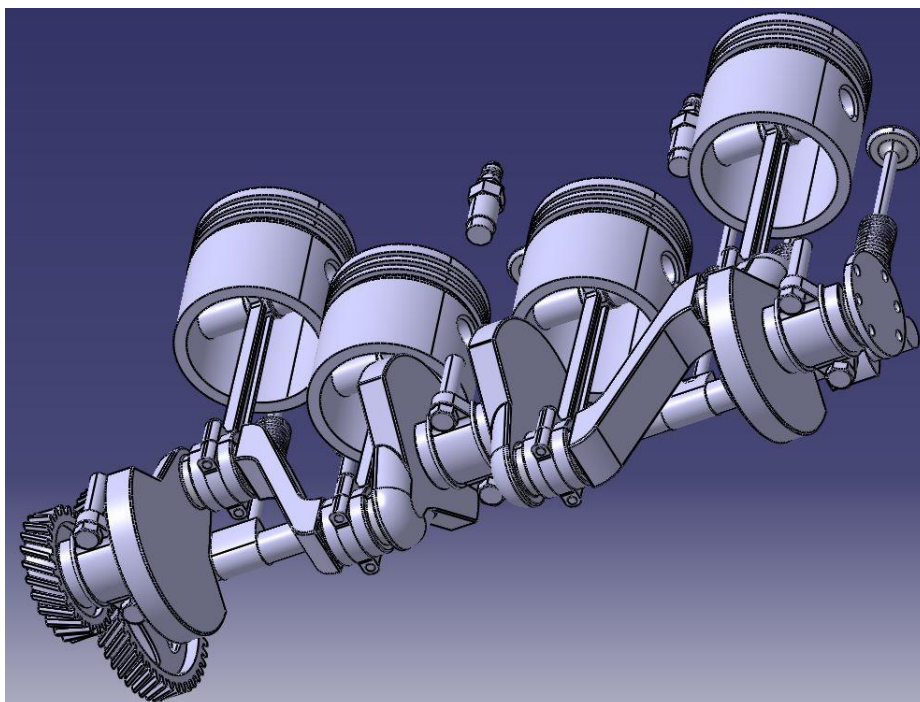


Ilustración 109. Opciones para añadir piezas al módulo Assembly



## ENSAMBLADO TRANSMISIÓN

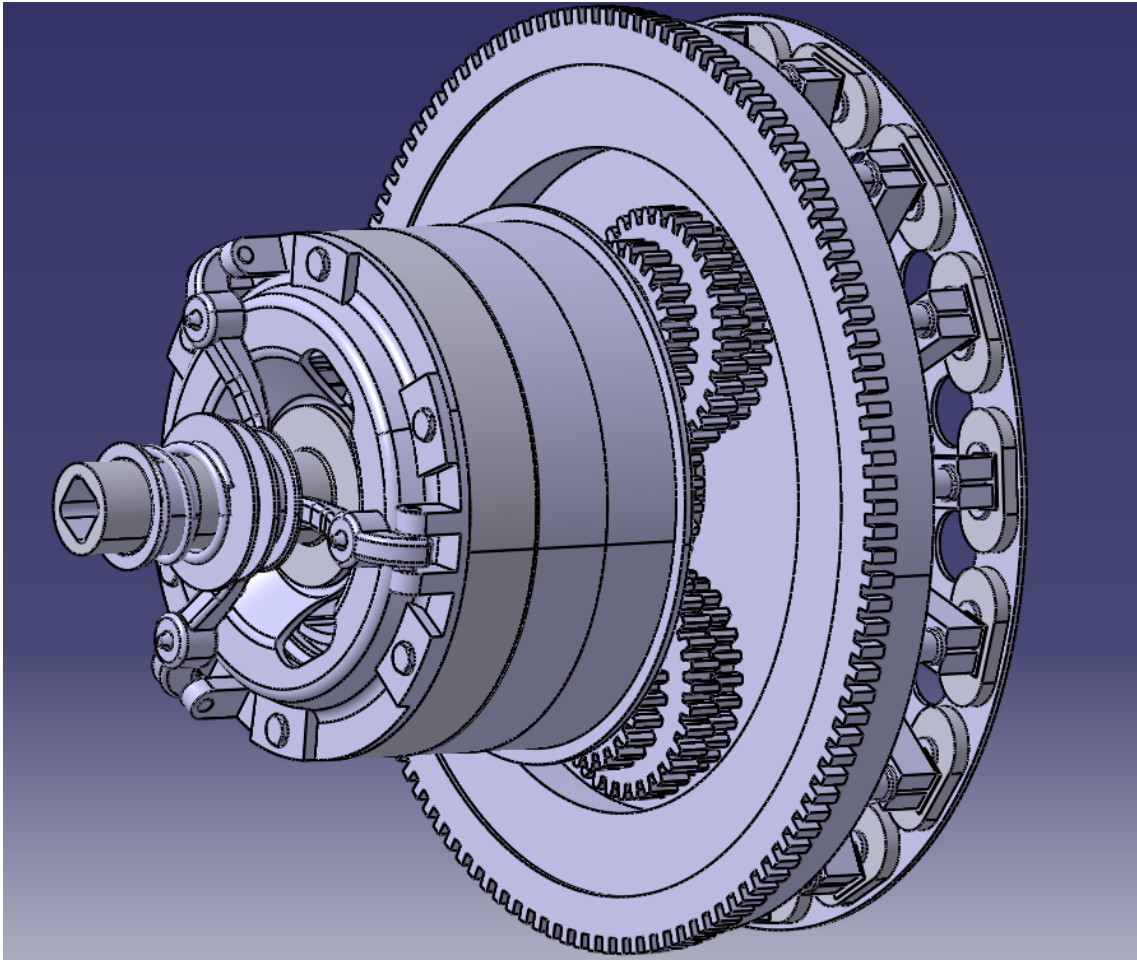


Ilustración 110. Opciones para añadir piezas al módulo Assembly

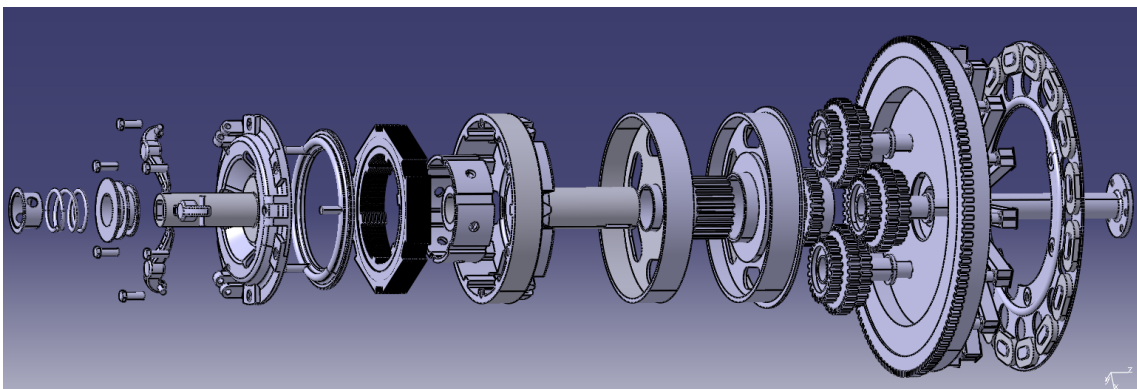


Ilustración 111. Opciones para añadir piezas al módulo Assembly



## ENSAMBLADO INTERIOR DEL CONJUNTO

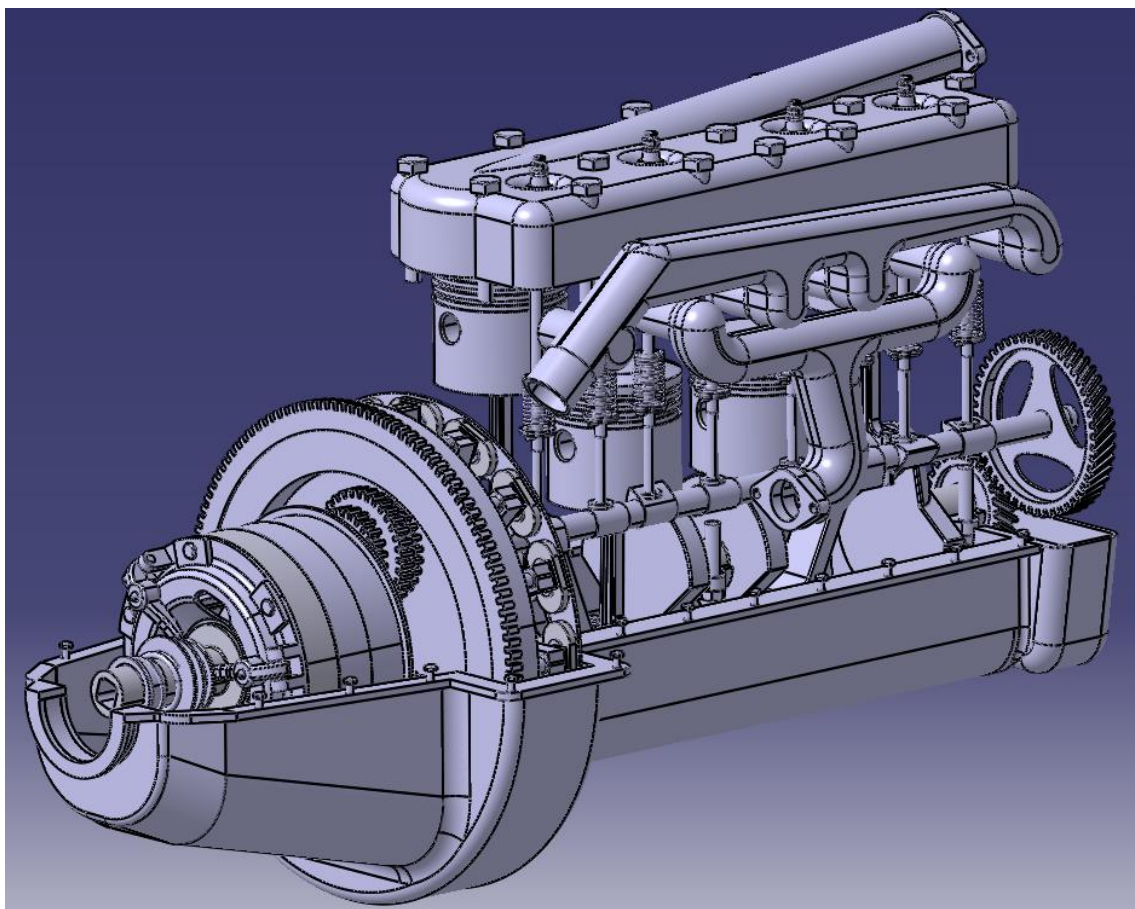


Ilustración 112. Opciones para añadir piezas al módulo Assembly



## 9 RENDERIZADO

---

### 9.1 SOFTWARE KEYSHOT 6

#### 9.1.1 Descripción, elección y desarrollo

**KeyShot** es un programa independiente de renderizado y simulación de datos en 3D creado por la empresa Luxion y cuyo objetivo fue eliminar la complejidad de renderizado de imágenes realistas. Es utilizado por diseñadores, ingenieros y profesionales de todo el mundo para la generación de imágenes realistas de forma rápida y fácil, así como para la animación de modelos en 3D.

Como características más esenciales que han motivado al alumno a seleccionar este software son: la rapidez y la sencillez. En primer lugar, uno de los puntos fuertes es el hecho de que cualquier cambio realizado en el programa, el sistema reaccionará instantáneamente para dar el resultado en tiempo real, esto da al ingeniero mucho tiempo de pruebas y de ajuste. Por otro lado, un usuario básico podrá utilizar gran parte de su potencia interviniendo solo en algunos parámetros, por lo que reduce el tiempo de adaptación. Cabe decir que KeyShot cuenta con el único motor de renderizado certificado por el CIE (International Commission on Illumination). Gracias al uso de materiales científicamente testados y a la iluminación del mundo real, KeyShot es capaz de proporcionar las imágenes más precisas en pocos segundos. Cuando se combina una imagen 3D con una fotografía, se pueden crear resultados aún más sorprendentes. [10]



Ilustración 113. Logotipo de KeyShot [81]

## 9.1.2 ¿Cómo funciona?

Existen 5 pasos básicos:

**Paso 1:** Importación de los datos desde diferentes plataformas y con los formatos más populares del mercado como aparece en el siguiente apartado.

**Paso 2:** Asignación de materiales. Entre más de 700 materiales disponibles, se selecciona el deseado y se arrastra al sólido para darle ese aspecto. Este punto estará ampliamente desarrollado posteriormente.

**Paso 3:** Seleccionar la iluminación. Se selecciona una imagen de fondo (HDRI), con ello se percibirán los efectos de la luz natural sobre los materiales, los colores y el acabado.

**Paso 4:** Ajustar la cámara. El usuario puede cambiar el marco de la escena así como el ángulo, la distancia y el giro. Se puede controlar la perspectiva, la distancia focal y la profundidad de campo que se le quiera dar a la imagen.

**Paso 5:** Ajustar el fondo. Dar los últimos retoques a la imagen para cuadrarla y obtener las condiciones ideales para el render. [10]

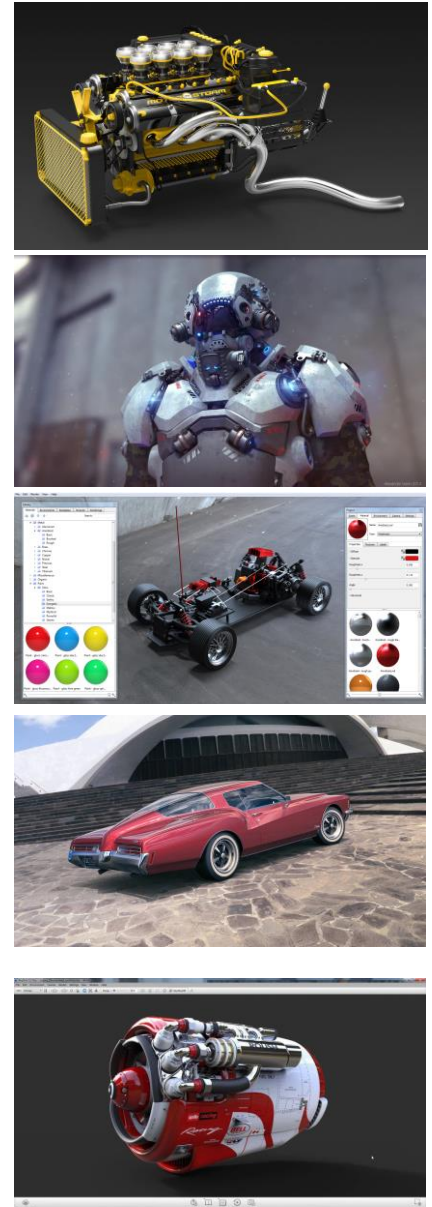


Ilustración 114. Ejemplos de la potencia del software de Luxion [82]

## 9.1.3 Formatos Soportados

- 3ds Max 2016 y anteriores (via plugin)
- ALIAS 2016 y anteriores
- AutoCAD (DWG/DXF)
- CATIA v5/6
- Cinema 4D R16 y posteriores
- PTC Creo 3.0 y anteriores
- Inventor 2016 y anteriores
- Maya 2016 y anteriores
- NX 10 y anteriores

- Pro/ENGINEER Wildfire 2 – 5
- Rhinoceros 5 y anteriores
- SketchUp 2015 y anteriores
- Solid Edge ST8 y anteriores
- SolidWorks 2016 y anteriores
- IGES
- JT
- 3DXML
- STEP AP203/214
- OBJ
- Parasolid
- FBX inclusive part/camera animation
- STL
- Collada
- Alembic

### 9.1.4 Módulos Principales

KeyShot cuenta con una serie de módulos con los que se pueden editar todos los parámetros descritos anteriormente y seguir cada uno de los pasos para un correcto renderizado del sólido o conjunto. Cada uno de ellos proporciona una función esencial para proporcionar de mayor grado de realismo, y son un total de cinco, definidos a continuación:

**Importar:** Gracias a este módulo es posible mover el modelo 3D del programa original con el que se creó a la zona de trabajo de KeyShot.

**Librería:** En él se puede encontrar todos los materiales, texturas, respaldos y entornos disponibles de una forma intuitiva, así como cargar nuevos que no aparezcan de forma predeterminada.

**Proyecto:** Consta de seis pestañas con las cuales se puede editar todas las características seleccionadas en Librería:

-Escena: Hace de resumen donde aparece todo lo que contiene la zona de trabajo, ya sea cada uno de los sólidos, las cámaras, sets de escena...

-Material: Desde aquí se modifica y edita todos los parámetros disponibles que cambian el aspecto del material, como rugosidad o índice de refracción.

-Entorno: Permite editar el brillo, contraste, tamaño, altura y rotación del fondo que rodea al modelo.

-Iluminación: Da varias opciones de luz con la que ajustar la más idónea para la pieza, así como diversos ajustes relativos a rebotes y sombras.

-Cámara: En él es posible cambiar la distancia, azimuth, inclinación y giro, además de la posición. Esto es posible hacerlo manualmente con el ratón, pero conlleva mayor complejidad.

-Imagen: Permite modificar la resolución, resplandor, brillo y gamma de la imagen, y otros ajustes.

**Animación:** Con este módulo se pueden realizar animaciones en torno al modelo, con efectos de translación, rotación y diversos movimientos que le darán al sistema un aspecto muy visual e intuitivo para la comprensión del modelo.

**Render:** Finalmente ésta es la herramienta para crear imágenes o videos con la resolución que se desee, el formato idóneo, y donde se podrá decidir el nombre, la carpeta donde guardar, así como el tamaño de compresión.

## 9.2 RENDER Y COMPARTIVA CON PIEZAS REALES

A continuación se ha querido hacer un cara a cara entre las piezas originales, seleccionadas de páginas web especialistas en este tipo de vehículos, y las modeladas por el alumno, apreciando así el nivel de detalle y las posibles pequeñas variaciones entre ellas.

Como nota, y como se verá posteriormente, el color de éstas en esta comparativa será el más parecido a la imagen real, sin tener en cuenta que en el ensamblaje final muchos de estos sólidos estarán sujetos a cambios de color para ser diferenciados más fácilmente a la vista en conjunto.

### 9.2.1 Piezas del motor

Para reducir la cantidad de comparativas a las más importantes visualmente hablando, se ha prescindido de los elementos menores y ajenos. El motivo es el hecho de que un tornillo o un muelle renderizado no tiene el mismo impacto visual para el lector que un cigüeñal, es por lo que se ha querido solo comparar aquellas piezas más voluminosas, importantes o complejas a nivel ilustrativo.

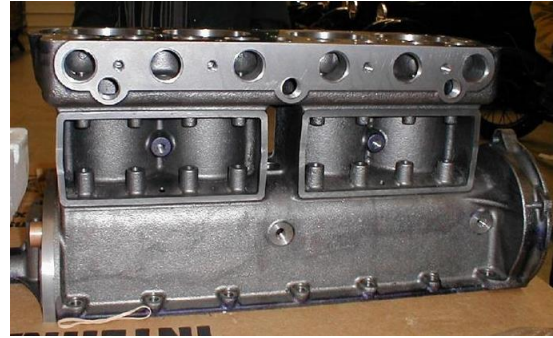
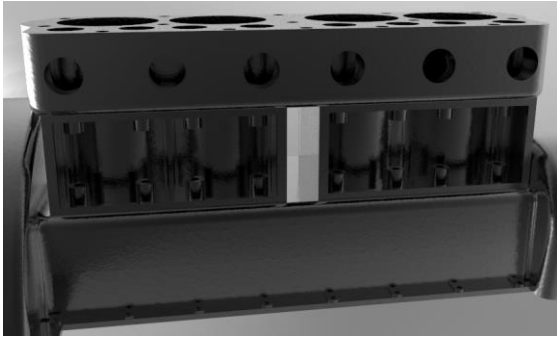


Ilustración 115. Comparativa entre el modelo del bloque y la pieza real I: Vista frontal [83]



Ilustración 116. Comparativa entre el modelo del bloque y la pieza real II: Vista posterior [84]



Ilustración 117. Comparativa entre el modelo de la culata y la pieza real I: Vista superior [85]

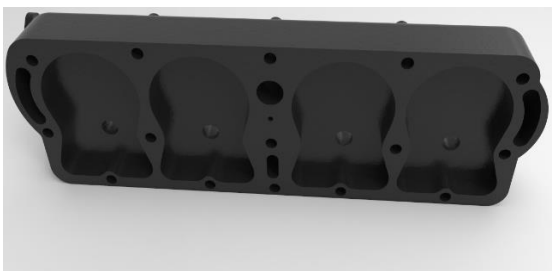


Ilustración 118. Comparativa entre el modelo de la culata y la pieza real II: Vista inferior [86]



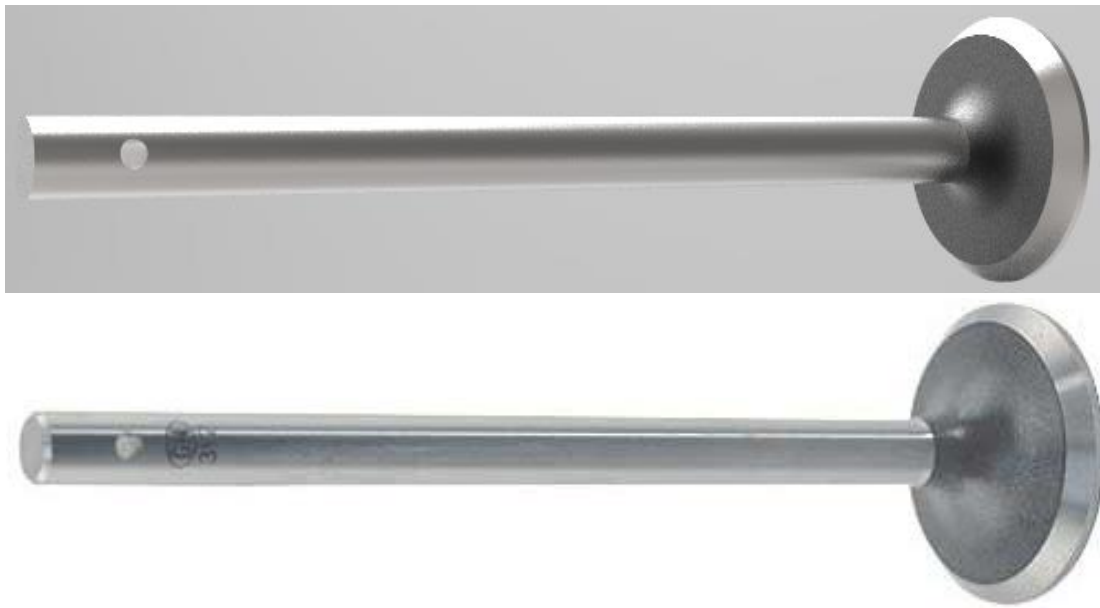


Ilustración 119. Comparativa entre el modelo de la válvula y la pieza real [87]



Ilustración 120. Comparativa entre el modelo del pistón y la pieza real [88]



Ilustración 121. Comparativa entre el modelo de la biela y la pieza real [89]

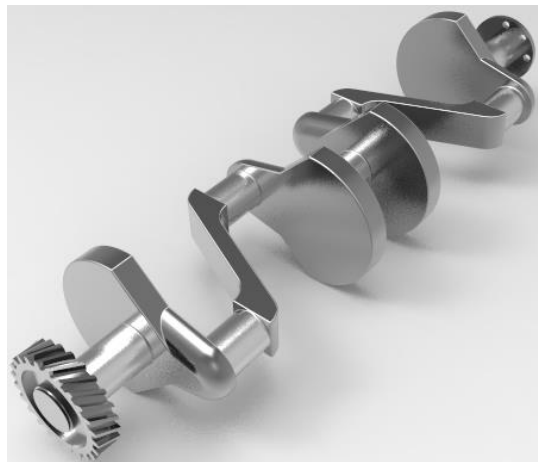


Ilustración 122. Comparativa entre el modelo del cigüeñal y la pieza real [90]



Ilustración 123. Comparativa entre el modelo del árbol de levas y la pieza real [91]



Ilustración 124. Comparativa entre el modelo del colector de admisión y la pieza real [92]



Ilustración 125. Comparativa entre el modelo del colector de escape y la pieza real [93]



Ilustración 126. Comparativa entre el modelo del rodamiento central del árbol de levas y la pieza real [94]

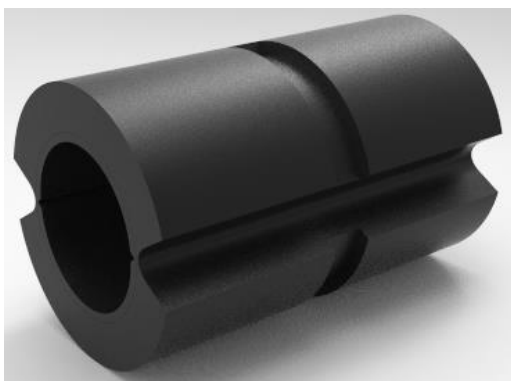


Ilustración 127. Comparativa entre el modelo del cojinete frontal del árbol de levas y la pieza real [95]

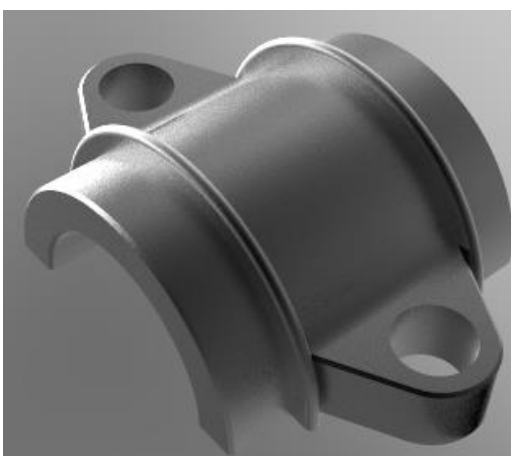


Ilustración 128. Comparativa entre el modelo del cojinete de bancada central y frontal y la pieza real [96]



Ilustración 129. Comparativa entre el modelo del cojinete de bancada trasero y la pieza real [97]



Ilustración 130. Comparativa entre el modelo del alzávalvulas y la pieza real [98]

### 9.2.2 Piezas de la transmisión

Al igual que ocurriera con las piezas del motor, en esta ocasión se ha comparado únicamente las piezas principales, sin entrar en las menores, aunque sí los elementos ajenos, que son bobinas del magneto y cubierta de la transmisión, ya que se ha considerado que son visualmente atractivas.



Ilustración 131. Comparativa entre el modelo del engranaje conducido y la pieza real [70]



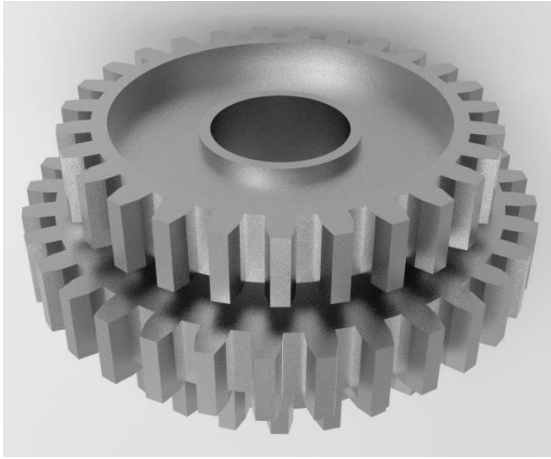


Ilustración 132. Comparativa entre el modelo del engranaje triple y la pieza real [99]



Ilustración 133. Comparativa entre el modelo del tambor inverso y la pieza real [71]



Ilustración 134. Comparativa entre el modelo del tambor de baja velocidad y la pieza real [100]



Ilustración 135. Comparativa entre el modelo del tambor de freno y la pieza real [75]



Ilustración 136. Comparativa entre el modelo del plato conductor y la pieza real [101]

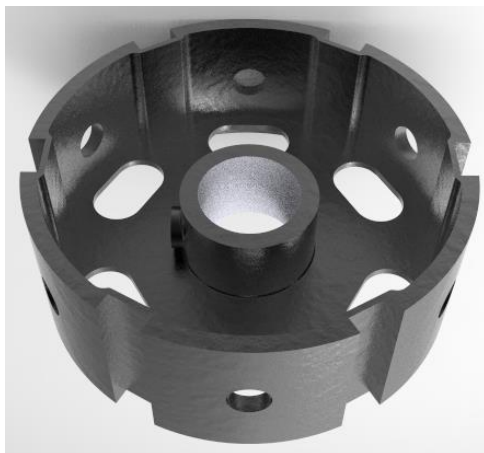


Ilustración 137. Comparativa entre el modelo del tambor de discos y la pieza real [78]



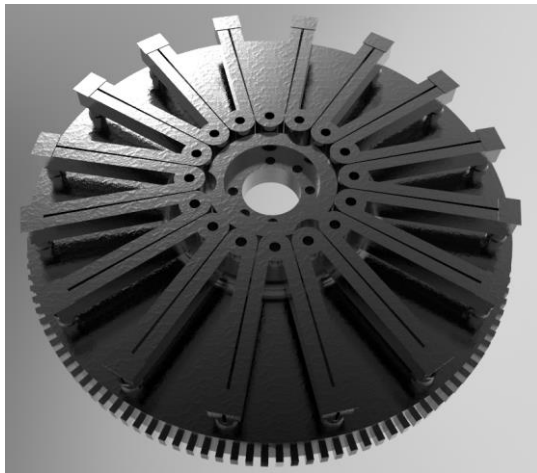


Ilustración 138. Comparativa entre el modelo del volante de inercia I: vista frontal [102]



Ilustración 139. Comparativa entre el modelo del volante de inercia I: vista frontal [68]



Ilustración 140. Comparativa entre el modelo del eje del volante y la pieza real [103]



Ilustración 141. Comparativa entre el modelo de los cojinetes y las piezas reales [104]



Ilustración 142. Comparativa entre el modelo de la bobina del magneto y la pieza real [105]



Ilustración 143. Comparativa entre el modelo de la cubierta de la transmisión y la pieza real [106]

## 9.3 RENDERIZADO FINAL

### 9.3.1 Renderizado exterior

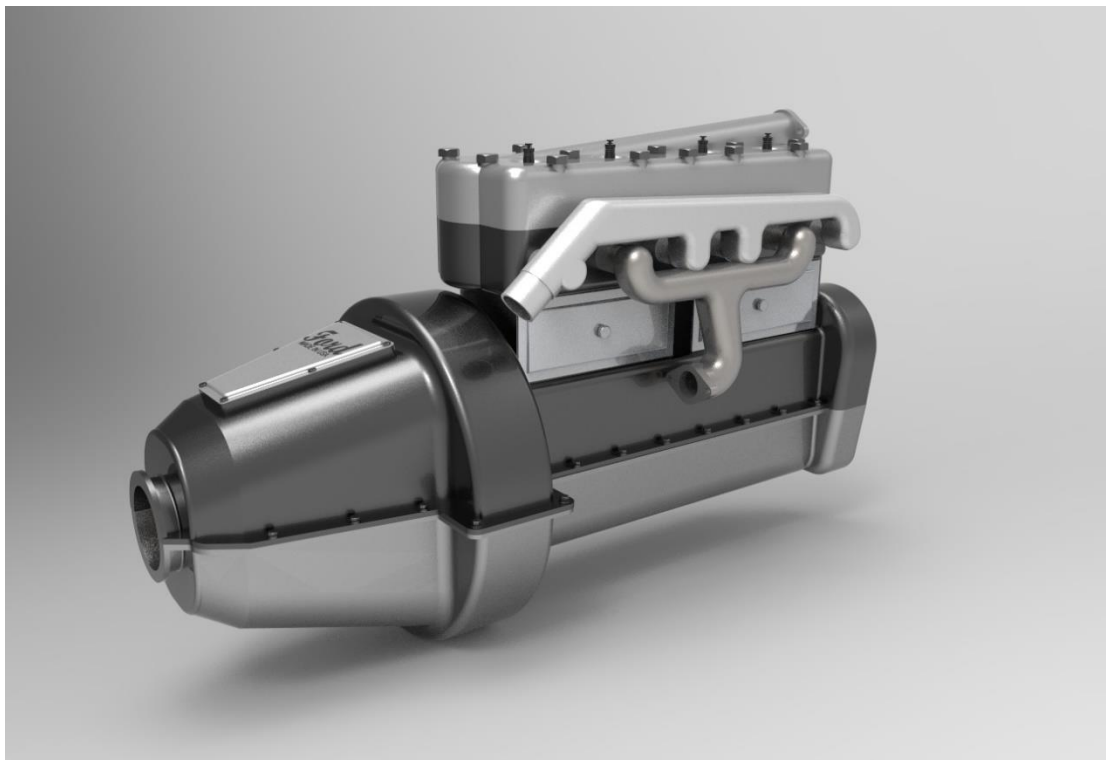


Ilustración 144. Renderizado del exterior del conjunto

### 9.3.2 Renderizado del interior del motor

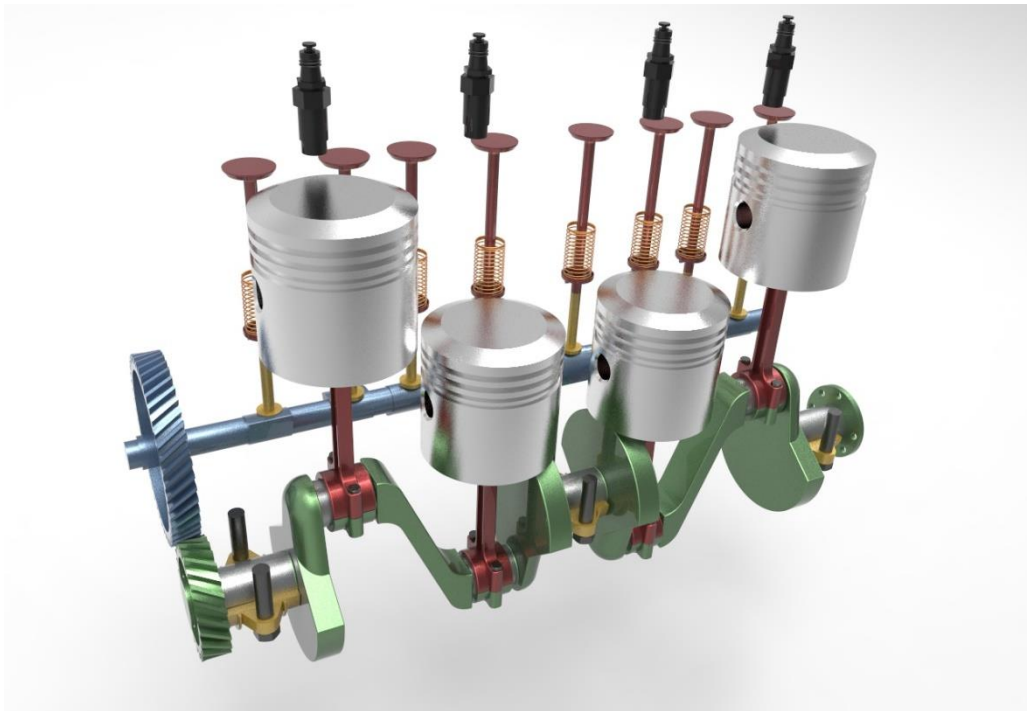


Ilustración 145. Renderizado del interior del motor I: Vista superior

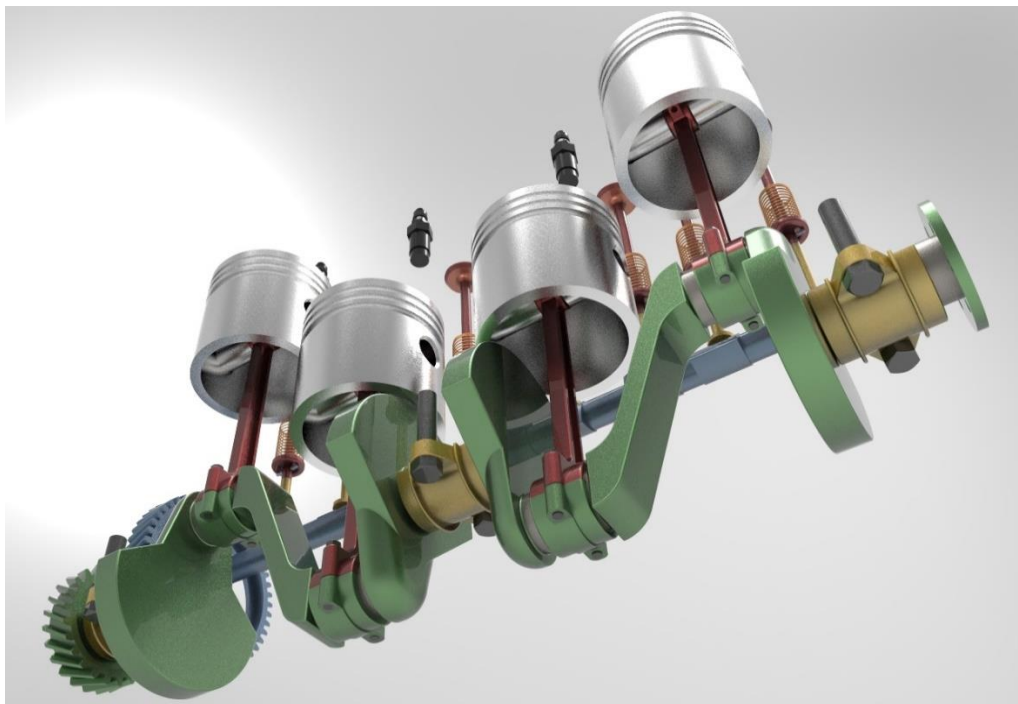


Ilustración 146. Renderizado del interior del motor II: Vista inferior



### 9.3.3 Renderizado de la transmisión

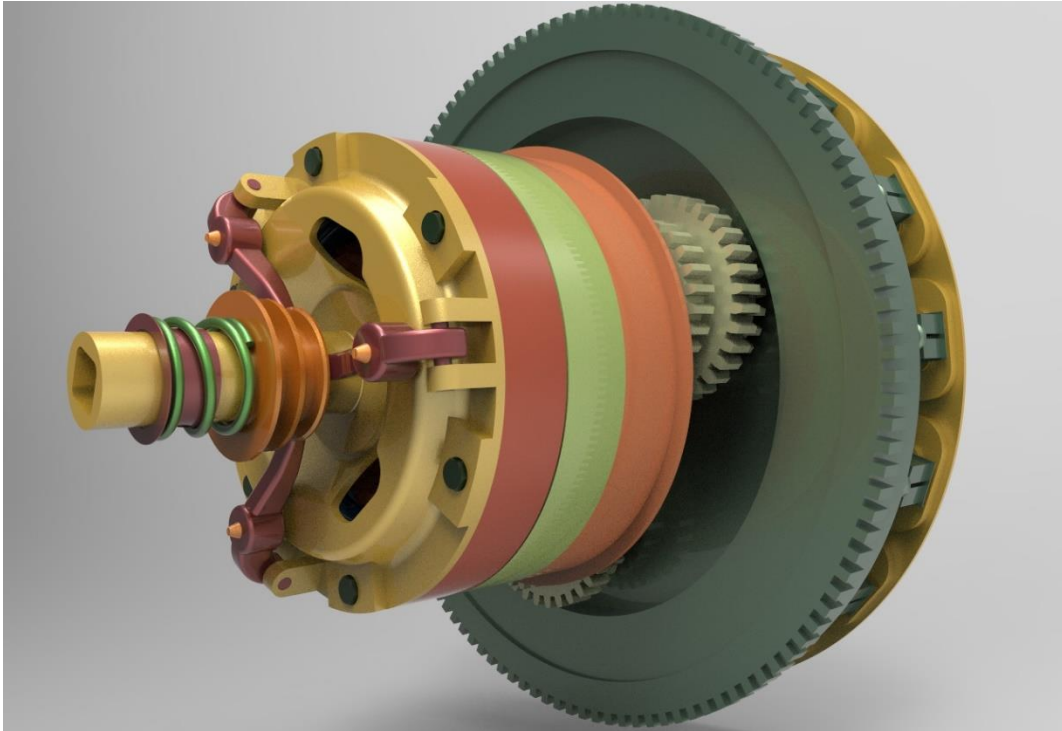


Ilustración 147. Renderizado de la transmisión

### 9.3.4 Renderizado del interior del conjunto

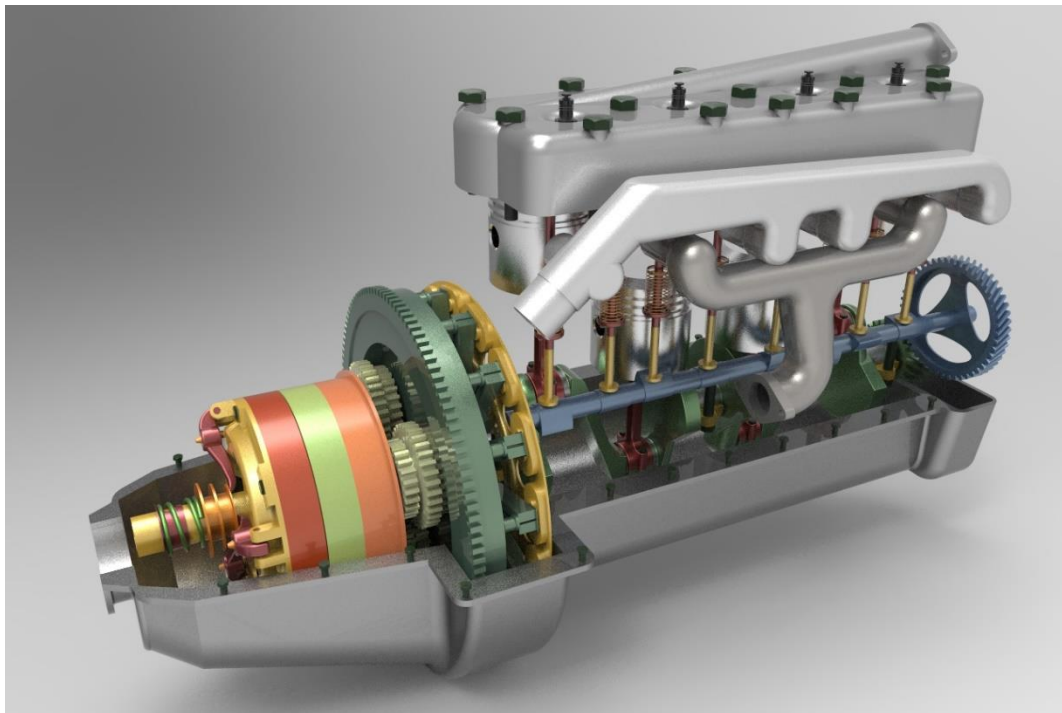


Ilustración 148. Renderizado del interior del conjunto



## 10 CONCLUSIONES Y FUTURO

---

El objetivo final de este proyecto, como se detalló al comienzo, era modelar y ensamblar el conjunto motor-transmisión del Ford modelo T de la manera más realista posible, ciñéndose a las tablas de especificaciones, planos y/o bocetos de los que se disponía mediante uno de los programas de modelado más potentes y usados en la actualidad como es CATIA.

Gracias a esto, permite dar al lector una visión de lo que, en primer lugar, es un motor de combustión y un tren de marchas de aquella época y, en segundo, un repaso por la historia de un vehículo histórico en la sociedad.

El centro respecto a lo que todo ha girado ha sido el módulo Part de CATIA, ha sido el lugar de trabajo durante muchas horas, creando cada uno de los pequeños elementos que conforman el todo, un todo al que se dio vida en el módulo Assembly. KeyShot aportó su potencia para dar al resultado final una textura, color y escenografía perfectos para la vista del lector.

Como contrapartida y punto negativo, algunas piezas fueron susceptibles de ser eliminadas del modelo, debido a su baja importancia y al incremento que esto conllevaba en el tiempo de creación, añadiendo a esto el hecho de que ciertas medidas de las piezas debían ser supuestas por proporción y comparación mediante imágenes, aunque esto no influía en un correcto movimiento del sistema si se creara en la realidad.

Con respecto a futuros trabajos, este proyecto sirve de base para que otros alumnos se apoyen en él y se atrevan a modelar diferentes aspectos del vehículo que, sin ir más lejos, fueron seriamente contemplados como objetivo principal para éste. Entre ellos se encuentran:

- Sistema eléctrico.
- Sistema de frenado y suspensión.
- Carrocería, chasis e interior.
- Grupo cónico y diferencial y estudio del sistema de dirección.

Quizás en siguientes generaciones se pueda hablar del modelado del completo Ford T, aunando cada uno de los diferentes trabajos para conformar un potente proyecto de recreación de un vehículo mítico y que revolucionó el sector automovilístico tal y como lo conocemos.



## REFERENCIAS

---

- 1 Wiley, John & Sons. 1996.** *Forbes greatest business stories of all times*. ISBN-13: 9780471143147. Disponible en:  
<http://www.wiley.com/legacy/products/subject/business/forbes/ford.html>
- 2 Herald Tribune. 2008.** Riding out the recession. Disponible en:  
<http://www.heraldtribune.com/assets/pdf/SH142761219.PDF>
- 3 Wells, Christopher W. ISSM.** La morte del Modello T: strade pavimentate, auto coperte e tecnologia desueta. Disponible en:  
[http://www2.issm.cnr.it/demetrapdf/boll\\_21\\_2010/Pagine%20da%20demetra\\_imp%2021\\_wells.pdf](http://www2.issm.cnr.it/demetrapdf/boll_21_2010/Pagine%20da%20demetra_imp%2021_wells.pdf)
- 4 Ruiz, Roberto 2015.** Cómo funciona un motor de cuatro tiempos. Disponible en:  
<http://motos.about.com/od/mecanica-basica/ss/Como-Funciona-Un-Motor-De-4-Tiempos.html>
- 5 Fred Houston, Steve Coniff, Larry Sigworth, Bill Stipe and Larry Young. 2001** Model T Ford of Tulsa. Disponible en:  
[http://mtfctulsa.com/Cams/design\\_stock.html](http://mtfctulsa.com/Cams/design_stock.html)
- 6 Dyer, Chris. 2008-2010.** Model T central. *Model T Ford: Transmission Components*. Disponible en:  
[http://www.modeltcentral.com/transmission\\_animation.html](http://www.modeltcentral.com/transmission_animation.html)
- 7 Fabrice Alison, Steven B. Shooter and Timothy W. Simpson.** *Henry ford and the model t: Lessons for product platforming and mass customization*. DETC2008/DFMLC-49420. Disponible en:  
<http://mne.psu.edu/simpson/courses/me546/Alizone-et.al.ModelIT.pdf>
- 8 The Saylor Fundation. 2005.** *Scientific Management Theory and the Ford Motor Company*. Disponible en:  
<http://www.saylor.org/site/wp-content/uploads/2013/08/Saylor.orgs-Scientific-Management-Theory-and-the-Ford-Motor-Company.pdf>
- 9 Milt Webb and Carl Amundson.** Model T Engine Performance. Disponible en:  
<http://www.nwvs.org/Technical/MTFCA/Articles/1203ModelTPerformance.pdf>
- 10 Caesoft.** Keyshot ¿Qué es?. Disponible en:  
[http://caesoft.es/productos/Keyshot/Descripcion/Descripcion\\_keyshot.html](http://caesoft.es/productos/Keyshot/Descripcion/Descripcion_keyshot.html)

- 11 **Grupo CARMAN. 2013.** Catia V5. Disponible en: [Diseño, Fabricación y Análisis con Catia V5 Grupo CARMAN.html](#)
- 12 **Louis P. Baudoin.** Transmissions for T Fords. Disponible en: [Cimorelli's Model T Digital Library.html](#)
- 13 **Joe Tidd and John Bessant. 2013.** Innovation Portal. *The model T Ford*.  
<http://www.innovation-portal.info/wp-content/uploads/Model-T-Ford.pdf>
- 14 **Ford Motor Company. 1909.** *The Great Race*. Disponible en:  
<http://www.cimorelli.com/mtdl/1909/1909greatrace.pdf>
- 15 **Cenifer.** <http://www.cenifer.com/cursos-de-catia-v5-y-solidworks/>
- 16 **Fierros clásicos.** <http://www.fierrosclasicos.com/1-de-octubre-de-1908-nacia-el-ford-t-la-revolucion-automotriz/>
- 17 **El comercio.** <http://elcomercio.pe/ruedas-tuercas/rt-sports/hace-128-anos-se-patento-primer-auto-gasolina-noticia-1706059>
- 18 **Basiccarpentrytechniques.**  
<http://www.basiccarpentrytechniques.com/Technology%204/The%201893%20Duryea%20Automobile/The%201893%20Duryea%20Automobile.html>
- 19 **Oswald, Kathy.** Pinterest <https://es.pinterest.com/pin/136867276151967764/>
- 20 **American Automobiles.** <http://www.american-automobiles.com/Ford/Henry-Ford.html>
- 21 **Vanderbilt Cup Races.**  
[http://www.vanderbiltcupraces.com/blog/article/edsel\\_ford\\_ii\\_needs\\_your\\_help\\_to\\_find\\_the\\_sweepstakes\\_trophy](http://www.vanderbiltcupraces.com/blog/article/edsel_ford_ii_needs_your_help_to_find_the_sweepstakes_trophy)
- 22 **Batauto.** <http://www.batauto.com/threads/identify-an-old-ford.13871/>
- 23 **Noticias coches.** <http://noticias.coches.com/fotos-de-coches/fotos-de-ford>
- 24 **Pddnet.** <https://www.pddnet.com/blog/2015/10/today-engineering-history-ford-model-t-introduced>
- 25 **Salt of America.** [http://saltofamerica.com/contents/displayArticle.aspx?17\\_185](http://saltofamerica.com/contents/displayArticle.aspx?17_185)

- 26 Onyx Media Llc.** Captura de video.  
<http://www.gettyimages.es/detail/v%C3%ADdeo/highland-park-ford-plant-exterior-showing-v%C3%ADdeos-de-noticias/123974060>
- 27 Wikiwand.** [http://www.wikiwand.com/en/Highland\\_Park\\_Ford\\_Plant](http://www.wikiwand.com/en/Highland_Park_Ford_Plant)
- 28 Autolife.** Ford Assembly Lines  
[http://www.autolife.umd.umich.edu/Labor/L\\_Overview/Ford\\_Assembly\\_Lines.htm](http://www.autolife.umd.umich.edu/Labor/L_Overview/Ford_Assembly_Lines.htm)
- 29 Team Bonding.** <https://www.teambonding.com/team-building-quote-american-dream/>
- 30 Hemmings Daily.** <https://blog.hemmings.com/index.php/2013/10/07/henry-fords-moving-automotive-assembly-line-turns-100/>
- 31 Henryford150.** <http://www.henryford150.com/5-a-day/>
- 32 Persuade me Politics.**  
<https://persuademepolitics.wordpress.com/2015/11/05/should-we-increase-the-minimum-wage/>
- 33 Henryford.fr.** <http://www.henryford.fr/critiques/dearborn-independent/>
- 34 Ushmm.**  
<https://www.ushmm.org/wlc/en/gallery.php?ModuleId=10007058&MediaType=ph>
- 35 Nacional Photo Co.**  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James\\_J.\\_Couzens\\_npcc.25989.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_J._Couzens_npcc.25989.jpg)
- 36 Autonews.**  
[http://www.autonews.com/article/20080914/OEM02/309149927/durant-almost-landed-ford-but-couldnt-come-up-with-\\$2-million](http://www.autonews.com/article/20080914/OEM02/309149927/durant-almost-landed-ford-but-couldnt-come-up-with-$2-million)
- 37 Open Buildings.** <http://openbuildings.com/buildings/ford-river-rouge-complex-profile-38174>
- 38 Jasawyer.** <https://jasawyer.wordpress.com/author/jasawyer/page/3/>
- 39 Wheelsage.**  
<https://en.wheelsage.org/chevrolet/superior/64136/pictures/z3t19o/>

- 40 Caranddriver.** <https://dr1ven.wordpress.com/auto-reviews/classic-reviews/henry-fords-model-a/>
- 41 Disruptive advertising.** <http://www.disruptiveadvertising.com/adwords/ppc-advertising-like-building-car/>
- 42 Cimorelli.** The Ford Industries  
<http://www.cimorelli.com/mtdl/1926/1926fordindustries.pdf>
- 43 Grovesapush.** <https://grovesapush.wikispaces.com/Model+T>
- 44 Revinstitute.** <https://revsinstitute.org/the-collection/1909-ford-model-t-touring/>
- 45 Victor Wilfred. 1916.** *The Model T Ford car, its construction, operation and repair*  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pag%C3%A9\\_1917\\_Model\\_T\\_Ford\\_Car\\_Figure\\_14.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pag%C3%A9_1917_Model_T_Ford_Car_Figure_14.png)
- 46 Howstuffworks.** <http://auto.howstuffworks.com/1920-1929-ford-trucks2.htm>
- 47 The Hot Rod Company.**  
<http://www.thehotrodcompany.com/blog/category/Gas-Tanks.aspx>
- 48 MTFCA.**  
<http://www.mtfca.com/discus/messages/331880/399380.html?1383798675>
- 49 The Old Motor.** <http://theoldmotor.com/?p=102491>
- 50 MTFCA.**  
<http://www.mtfca.com/discus/messages/179374/242910.html?1319580757>
- 51 Wallpaperup.** [http://www.wallpaperup.com/147775/1912\\_Ford\\_Model-T\\_Speedster\\_retro\\_engine\\_f.html](http://www.wallpaperup.com/147775/1912_Ford_Model-T_Speedster_retro_engine_f.html)
- 52 Wikipedia.** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ford-T\\_engine\\_-\\_Flickr\\_-\\_granada\\_turnier.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ford-T_engine_-_Flickr_-_granada_turnier.jpg)
- 53 Fordmodelt.** <http://www.fordmodelt.net/blog/2014/03/>
- 54 MTFCA.**  
<http://www.mtfca.com/discus/messages/80257/110648.html?1255978090>

**55 Modelt.org.** <http://modelt.org/discus/messages/2/2862.html?1350310977>

**56 Wikimedia.** [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Single-cylinder\\_T-head\\_engine\\_%28Autocar\\_Handbook%2C\\_13th\\_ed%2C\\_1935%29.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Single-cylinder_T-head_engine_%28Autocar_Handbook%2C_13th_ed%2C_1935%29.jpg)

**57 Trattoridepocapiacentini.it.**  
<http://trattoridepocapiacentini.it/FORD%20T%20PRIMA%20PARTE.pdf>

**58 Wikimedia.**  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Ford\\_1926\\_English\\_built\\_Model\\_T\\_engine\\_Anson\\_6160.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Ford_1926_English_built_Model_T_engine_Anson_6160.JPG)

**59 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-exhaust-and-intake-manifold-kit.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-exhaust-and-intake-manifold-kit.html)

**60 MTFCA.**  
<http://www.mtfca.com/discus/messages/118802/173011.html?1291060350>

**61 Wikimedia.**  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/Ford\\_manual\\_1919\\_pg\\_11.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/Ford_manual_1919_pg_11.jpg)

**62 T. Oliver.** Youtube. Captura de video  
<https://www.youtube.com/watch?v=G2H8eDIONJQ>

**63 MTFCA.**  
<http://www.mtfca.com/discus/messages/506218/565489.html?1440608038>

**64 MTFCA.**  
<http://www.mtfca.com/discus/messages/411944/504763.html?1419742159>

**65 MTFCA.** <http://www.mtfca.com/discus/messages/29/32655.html>

**66 Modeltford.** <https://www.modeltford.com/item/3030CB.aspx>

**67 Laura.** Recursos para educación infantil  
<http://mentamaschocolate.blogspot.com.es/2013/11/dibujos-para-colorear-movimiento-de.html>

- 68 **Modelt.org.** <http://modelt.org/discus/messages/2/32776.html?1313176657>
- 69 **Midcansusp.** Usuario de Ebay. [http://www.ebay.com/itm/Conjunto-de-3-1909-1927-Ford-Modelo-T-TRANSMISIOn-triple-engranajes-Bujes-/272203171734?\\_ul=BO](http://www.ebay.com/itm/Conjunto-de-3-1909-1927-Ford-Modelo-T-TRANSMISIOn-triple-engranajes-Bujes-/272203171734?_ul=BO)
- 70 **Synders Antique Auto.** <http://www.snydersantiqueauto.com/driven-gear>
- 71 **Macsaautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-transmission-reverse-drum-new-no-core-required.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-transmission-reverse-drum-new-no-core-required.html)
- 72 **Modeltcentral.** <http://www.modeltcentral.com/Model-T-Ford-Transmission-Specifications.html>
- 73 **Modelt96.** Usuario de Ebay. <http://www.ebay.com/itm/Model-T-Ford-Transmission-Slow-Speed-Drum-/401037079928?hash=item5d5fac3578:g:-AIAAOSwwE5WYc35&vxp=mtr>
- 74 **MTFCA.** <http://www.mtfca.com/discus/messages/118802/158731.html>
- 75 **Macsaautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-transmission-brake-drum-new-drum-installed-on-your-good-shaft.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-transmission-brake-drum-new-drum-installed-on-your-good-shaft.html)
- 76 **Macsaautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-transmission-clutch-disc-set-25-pieces-small-and-large.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-transmission-clutch-disc-set-25-pieces-small-and-large.html)
- 77 **Modelt.org.** <http://modelt.org/discus/messages/2/2719.html?1236261836>
- 78 **MTFCA.** <http://www.mtfca.com/discus/messages/411944/422288.html?1392217331>
- 79 **Hemmings Daily.** <https://blog.hemmings.com/index.php/2013/02/13/everyday-t-transmission-troubles/>
- 80 **MTFCA.** <http://www.mtfca.com/discus/messages/331880/359310.html?1367709603>
- 81 **West, Mathiew.** Blog. <http://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2013/01/solidworks-world-2013-partner-profile-luxion.html>

**82 Zbrushcentral.** Todas las imagenes de la ilustración han sido obtenidas de esta web. <http://www.zbrushcentral.com>

**83 MTFCA.**

<http://www.mtfca.com/discus/messages/80257/82606.html?1235820828>

**84 Arcar.** <https://www.arcar.org/>

**85 MTFCA.**

<http://www.mtfca.com/discus/messages/179374/247234.html?1321562230>

**86 MTFCA.** <http://www.mtfca.com/discus/messages/29/50120.html?1205329343>

**87 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-valve-standard-size-312-stem-stainless-steel.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-valve-standard-size-312-stem-stainless-steel.html)

**88 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-aluminum-piston-set-pins-included-choose-your-size.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-aluminum-piston-set-pins-included-choose-your-size.html)

**89 Strongclassics.** <https://strongclassics.com/1908-1927-ford-model-t-connecting-rod-a11439.html>

**90 Modeltford.** <https://www.modeltford.com/item/3030CB.aspx>

**91 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-camshaft-new-250-grind-short-front-bearing-journal.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-camshaft-new-250-grind-short-front-bearing-journal.html)

**92 Zingallngpastels.** Usuario de Ebay. <http://www.ebay.com/itm/MODEL-T-FORD-CAST-IRON-CARBURETOR-INTAKE-MANIFOLD-1914-1927-/282125624753>

**93 Dollloft.** Usuario de Ebay. <http://www.ebay.com/itm/Ford-Model-T-Exhaust-Manifold-marked-Ford-in-script-/322258953673?hash=item4b082165c9:g:pTYAAOSwvg9XcvMp&vxp=mtr>

**94 Snydersantiqueauto.** <http://www.snydersantiqueauto.com/center-cam-bearing>

**95 Snydersantiqueauto.** <http://www.snydersantiqueauto.com/front-cam-bearing>

**96 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-crankshaft-front-bearing-cap-rebabbitted-1-15-16-long.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-crankshaft-front-bearing-cap-rebabbitted-1-15-16-long.html)



- 97 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-crankshaft-rear-bearing-cap-rebabbitted-3-1-8-long.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-crankshaft-rear-bearing-cap-rebabbitted-3-1-8-long.html)
- 98 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-tappet-original-type-1-64-015-oversize-452-not-adjustable.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-tappet-original-type-1-64-015-oversize-452-not-adjustable.html)
- 99 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/transmission-triple-gear-used-1909-1927-model-t-each.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/transmission-triple-gear-used-1909-1927-model-t-each.html)
- 100 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-transmission-slow-speed-drum-new-drum-installed-on-your-good-gear.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-transmission-slow-speed-drum-new-drum-installed-on-your-good-gear.html)
- 101 MTFCA.**  
<http://www.mtfca.com/discus/messages/506218/559279.html?1438354923>
- 102 Modeltcentral.** <http://www.modeltcentral.com/model-t-ford-broken-crankshaft2.html>
- 103 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-transmission-gear-shaft-forged-usa-made.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-transmission-gear-shaft-forged-usa-made.html)
- 104 Macsautoparts.** [http://www.macsautoparts.com/ford\\_model\\_t/model-t-ford-transmission-bushing-set-8-pieces-bronze-grooved.html](http://www.macsautoparts.com/ford_model_t/model-t-ford-transmission-bushing-set-8-pieces-bronze-grooved.html)
- 105 MTFCA.**  
<http://www.mtfca.com/discus/messages/411944/502884.html?1419027637>
- 106 Snydersantiqueauto.** <http://www.snydersantiqueauto.com/transmission-door>